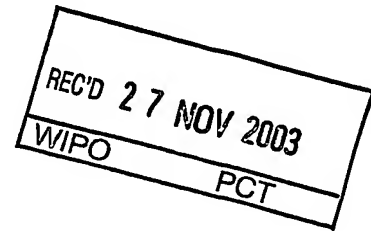


# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 41 475.0  
**Anmeldetag:** 03. September 2002  
**Anmelder/Inhaber:** 4D-Vision GmbH,  
Jena/DE  
**Bezeichnung:** Simulationsverfahren  
**IPC:** G 02 B, G 02 F, G 03 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. August 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY Hintermeier



u.Z.: Pat Sim3D0902

Jena, 03. September 2002

**4D-Vision GmbH**  
**Löbstedter Straße 101**  
**07749 Jena**

\* \* \*  
**Simulationsverfahren**  
\* \* \*



### Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf Simulationsverfahren, insbesondere auf Verfahren zur Simulation von räumlichen Eindrücken, welche vermöge eines Bildgebers und eines oder mehrerer Filterarrays zu erzeugen sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren umfaßt im wesentlichen die Schritte a) Vorgabe der Bildgebergeometrie eines Bildgebers, b) Vorgabe der Filterarraygeometrie eines Filterarrays, c) Vorgabe einer räumlichen Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber und das Filterarray in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z), d) Vorgabe zweier monokularer Betrachtungspositionen vor besagter Anordnungsgeometrie, e) Vorgabe eines Kombinationsbildes, welches Teilinformationen aus mehreren Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) einer Szene enthält, f) Ermittlung eines ersten und eines zweiten sekundären Bildes, welches die auf Grund der vorgegebenen Filterarraygeometrie in Verbindung mit der vorgegebenen Bildgebergeometrie und der räumlichen Anordnungsgeometrie für ein Betrachterauge an der jeweils vorgegebenen ersten und zweiten monokularen Betrachtungsposition sichtbaren Bildelemente des vorgegebenen Kombinationsbildes enthält, sowie g) stereoskopische Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes als jeweils linkes bzw. rechtes stereoskopisches Bild.

Fig. 13



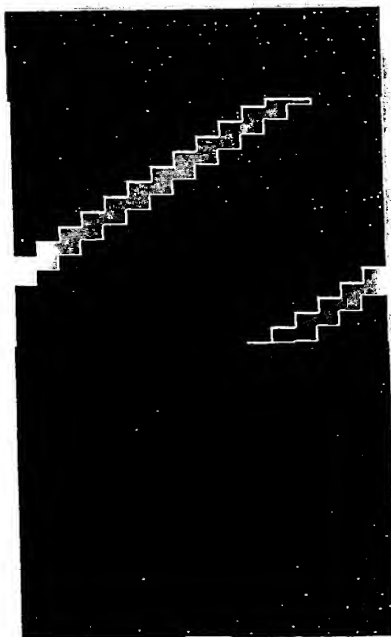
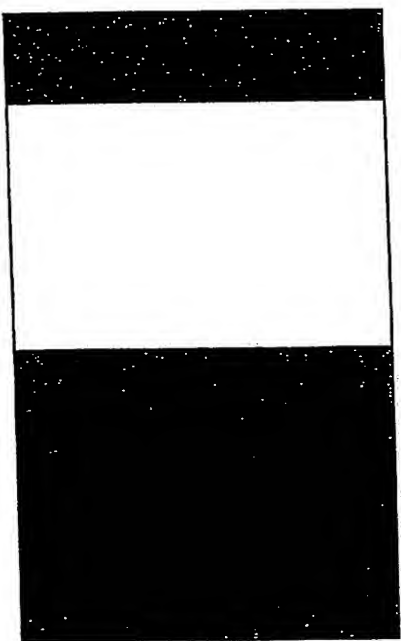
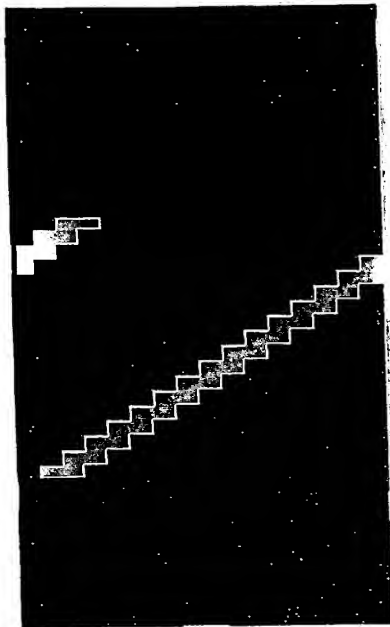
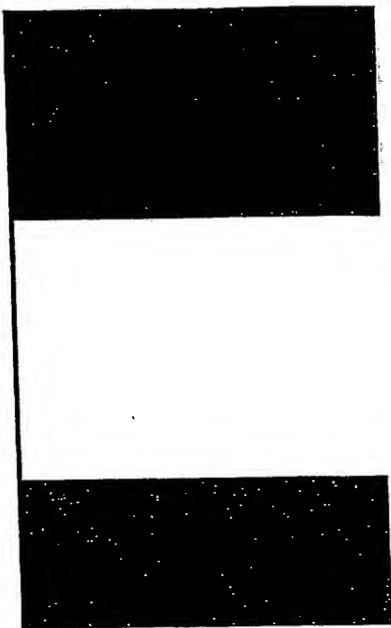


Fig.13



## Simulationsverfahren

Die Erfindung bezieht sich auf Simulationsverfahren, insbesondere auf Verfahren zur Simulation von räumlichen Eindrücken, welche vermöge eines Bildgebers und eines oder mehrerer Filterarrays zu erzeugen sind.

In der US 5,311,356 wird die Simulation der Effekte optischer Linsen beschrieben. Dazu werden Szenerien mittels bestimmter Linsen auf Folien aufgenommen. Diese Folien werden dem Betrachter zum Vergleich sichtbar dargeboten. Die Folie mit dem visuell besten Eindruck indiziert die auszuwählende Linse. Mit der hier beschriebenen Methode ist es allerdings nur möglich, reale Szenen aufzunehmen und die entstehenden Folien zu bewerten, um eine bestimmte Linse auszuwählen. Die Simulation eines 3D-Eindrucks für Filterarrays kann durch die Lehre der genannten Schrift nicht gewährleistet werden.

Aus der WO 93/10475 ist eine 3D-Anordnung unter Verwendung von linken und rechten Stereobildern bekannt. Dabei werden 3D-Objekte/Szenen simuliert, indem entsprechende linke und rechte Stereoteilbilder erzeugt werden. Die Lehre dieser Schrift ist jedoch ebenfalls nicht geeignet, 3D-Eindrücke von Anordnungen mit Filterarrays zu simulieren.

Die DE 10003326 C2 der Anmelderin beschreibt ein Verfahren und Anordnungen zur Erzeugung eines räumlichen Eindrucks, wobei die Betrachter zur 3D-Wahrnehmung keinerlei Hilfsmittel benötigen. Bei diesem Verfahren wird ein Wellenlängenfilterarray vor (ggf. auch hinter) einem Bildgeber angeordnet, so daß für das Licht der Bildelemente des Bildgebers in Abhängigkeit deren Wellenlänge Lichtausbreitungsrichtungen vorgegeben werden. In Verbindung mit der Sichtbarmachung eines aus mehreren Ansichten einer Szene oder eines Gegenstandes zusammengesetzten Kombinationsbildes auf den Bildelementen des Bildgebers wird somit erreicht, daß ein oder mehrere Betrachter von einer Vielzahl von Betrachtungspositionen aus mit einem Auge überwiegend eine erste Auswahl aus den Ansichten wahrnehmen, während er bzw. sie mit dem jeweils anderen Auge überwiegend eine zweite Auswahl aus den Ansichten sieht/sehen. Dadurch kommt für den/die Betrachter ein räumlicher Eindruck zu Stande. Während mit diesem Verfahren sehr gute räumliche Eindrücke erzielt werden können, ist die Neuentwicklung von Filterarrays in Kombination mit der Veränderung der entsprechenden Bildkombinationsvorschriften aufwendig und mühsam.



Bislang muß jede neue Filterstruktur zum Ausprobieren ihrer Wirkung körperlich hergestellt werden, wodurch die Filterentwicklung verteuert wird.

Vor diesem Stand der Technik ist die Aufgabe der Erfindung ein Verfahren anzugeben, mit dem die räumlichen Eindrücke, welche vermöge eines Bildgebers und eines Filterarrays zu erzeugen sind, simuliert werden. Das Simulationsverfahren soll mit möglichst einfachen und kostengünstigen Mitteln umsetzbar sein. Fernerhin soll eine Anordnung zur Umsetzung des Verfahrens beschrieben werden.

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Simulation von räumlichen Seheindrücken, umfassend die folgenden Schritte:

- a) Vorgabe der Bildbergeometrie eines Bildgebers, insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe,
- b) Vorgabe der Filterarraygeometrie eines Filterarrays, insbesondere hinsichtlich Filterelementstruktur und -größe,
- c) Vorgabe einer räumlichen Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber und das Filterarray in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- d) Vorgabe einer ersten und einer zweiten monokularen Betrachtungsposition vor besagter Anordnungsgeometrie in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- e) Vorgabe eines Kombinationsbildes, welches für die Darstellung auf der vorgegebenen Bildbergeometrie geeignet ist und welches in definierter Zuordnung zu den Bildelementen Bildinformationen aus verschiedenen gegebenen primären Bildern, welche verschiedenen Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) einer virtuellen oder realen Szene bzw. eines virtuellen oder realen Gegenstandes identisch sind, enthält,
- f) Ermittlung eines ersten und eines zweiten sekundären Bildes, welches die auf Grund der vorgegebenen Filterarraygeometrie in Verbindung mit der vorgegebenen Bildbergeometrie und der räumlichen Anordnungsgeometrie für ein Betrachterauge an der jeweils vorgegebenen ersten und zweiten monokularen Betrachtungsposition sichtbaren Bildelemente des vorgegebenen Kombinationsbildes enthält, wobei ein Bildelement eines sekundären Bildes explizit auch lediglich einen Teil eines Bildelementes des vorgegebenen Kombinationsbildes repräsentieren kann, sowie
- g) stereoskopische Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes oder Teile dieser sekundären Bilder als jeweils linkes bzw. rechtes stereoskopisches Bild.



Die Schritte a) bis e) können unter Umständen auch in veränderter Reihenfolge oder sogar parallel durchgeführt werden.

Es ist von Vorteil, wenn die Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ), aus denen das Kombinationsbild des Schrittes e) seine Bildinformationen bezieht, Ansichten („primäre Bilder“) einer räumlichen Testszene sind. Als Ansicht wird in diesem Zusammenhang wie auch im folgenden eine Ansicht bezeichnet, die einer zweidimensionalen Abbildung bzw. Aufnahme einer Szene oder eines Gegenstandes, beispielsweise der Testszene, von einer bestimmten Aufnahmeposition aus entspricht. So kann eine Ansicht  $A_k$  beispielsweise einer Perspektivansicht oder einer Parallelprojektion der Testszene entsprechen. (Im Unterschied dazu enthält ein Kombinationsbild Bildinformationen gleichzeitig mehrerer, d.h. mindestens zweier, Ansichten.)

Besagte Testszene beinhaltet bevorzugt zwei bis fünf, besonders bevorzugt drei verschiedene graphische Objekte. Im Falle der Beinhaltung dreier graphischer Objekte in der Testszene sind die Objekte innerhalb der räumlichen Testszene in jeweils verschiedenen Tiefenpositionen  $z$  angeordnet, wobei beim Vergleich verschiedener Ansichten  $A_k$  bevorzugt genau eines der Objekte keine horizontale Verschiebung, genau eines eine positive und genau eines eine negative horizontale Verschiebung aufweist. Bei der Darstellung auf einem autostereoskopischen Display würde somit eines der Objekte dem Betrachter vor der Bildgeberfläche, eines etwa darauf und eines dahinter erscheinen.

Für das hier beschriebene Simulationsverfahren sollten die abgebildeten Objekte in den Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) eine Breite von mindestens einer vollen Pixelspalte und eine Höhe von bevorzugt mindestens 24 Pixelzeilen aufweisen. Die Objekte der Testszene können homogen schwarz gefärbt, homogen grau gefärbt oder strukturiert sein.

Fernerhin mögen die Objekte der Testszene vor einem weißen oder strukturierten Hintergrund angeordnet sein.

Vorteilhaft werden die Ansichten  $A_k$  der Testszene von virtuellen oder realen Kameras aufgenommen, wobei die Achsen der virtuellen oder realen Kameras parallel oder konvergierend ausgerichtet sind und wobei bevorzugt die entsprechenden Kamerapositionen jeweils zweier benachbarter Ansichten  $A_k$  stets in etwa den gleichen Abstand aufweisen. Dieses Merkmal ist leicht auszubilden: Virtuelle Kameras, die etwa von einem mit Software gesteuerten PC gebildet werden können, werden gleichabständig auf einem Kreisbogen



angeordnet, so daß sie auf einen bestimmten Punkt, den Fixpunkt, konvergieren. Die äquidistante Anordnung von Kameras auf einer Geraden hingegen ermöglicht die Parallelausrichtung der virtuellen Kameras.

Es ist demgegenüber ebenfalls möglich, daß die Ansichten  $A_k$  für  $k > 1$  ausgehend von der Ansicht  $A_1$  erzeugt werden, indem die Ansicht  $A_1$  vermöge einer Parallelprojektion der Testszene gebildet wird und indem die in der Ansicht  $A_1$  abgebildeten graphischen Objekte der Testszene zur Erstellung der Ansichten  $A_k$  bei  $k > 1$  jeweils einzeln horizontal verschoben werden, wobei das Maß der jeweiligen Verschiebung proportional zur Tiefenposition des jeweiligen Objektes in der räumlichen Testszene ist und wobei das Maß der Verschiebung für unterschiedliche Ansichten, d.h. für unterschiedliche Werte  $k$ , bevorzugt unterschiedlich gewählt ist. Mit der letztgenannten Variation der Maßes der Verschiebung für disjunkte Werte  $k$  ist insbesondere gemeint, daß die Verschiebung eines Objektes einer beliebigen, aber festen Tiefenposition in der Regel umso größer ist, je höher (oder niedriger) der Wert  $k$  ist.

In der Regel –aber nicht zwingend in jedem Fall– wird die in Schritt a) des erfindungsgemäßen Verfahrens vorzugebende Bildgebergeometrie ein orthogonales Array von Bildelementen in Zeilen  $j$  und Spalten  $i$  sein, wobei die Bildelemente Licht einer bestimmten Wellenlänge oder eines bestimmten Wellenlängenbereiches abstrahlen bzw. transmittieren und wobei jedes Bildelement einen durch eine geschlossene Kurve beschreibbaren, bevorzugt einen vieleckigen, besonders bevorzugt rechteckigen Umriß aufweist. Für besondere Fälle sind auch Bildelementumrisse denkbar, welche keine geschlossene Kurve, sondern beispielsweise mehrere geschlossene Kurven als Umrisse aufweisen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Bildelement ringförmig ausgebildet ist und in der Mitte einen nicht zum Bildelement gehörenden Kern aufweist. Außerdem können mitunter auch zwei verschiedene Umrisse als zu einem Bildelement gehörig betrachtet werden.

Oftmals kommen als entsprechende Wellenlängenbereiche die der Grundfarben Rot, Grün und Blau in Frage. Es sind aber auch völlig andere Bildgeberprimärvalenzen denkbar.

Orthogonale Arrays von Bildelementen in Zeilen  $j$  und Spalten  $i$  sind z.B. für kommerziell erhältliche TFT-LC-Displays oder Plasma-Displays relevant.

Je nach Genauigkeitsanforderung an das erfindungsgemäße Simulationsverfahren werden bei der Vorgabe der Bildgebergeometrie feinere Details beachtet. So kann etwa ein kleinstes Bildelement eines TFT-Farb-LC-Displays, d.h. ein Farbsubpixel R, G oder B, mit einem



rechteckigen Umriß oder aber mit einem vieleckigen Umriß, der die Form des einen Teil des Bildelementes abdeckenden Transistors berücksichtigt, vorgegeben werden. Auch eine „Black-Matrix“ um ein Bildelement herum kann ggf. berücksichtigt werden.

Ferner können -je nach Anforderungen an die Simulation- weitere Details wie die spektrale Abstrahlungscharakteristik der Bildelemente in den Raum oder die Farbtemperatur in die Bildgebergeometrie eingearbeitet werden.

Im Falle eines 15“-TFT-LC-Displays würde die Bildgebergeometrie z.B. durch ein orthogonales Array von Bildelementen in 768 Zeilen und 3072 Spalten beschrieben werden, wobei die erste Spalte im wesentlichen rotes Licht emittiert oder transmittiert, die zweite Spalte im wesentlichen grünes Licht emittiert oder transmittiert, die dritte Spalte im wesentlichen blaues Licht emittiert oder transmittiert, die vierte Spalte wiederum im wesentlichen rotes Licht emittiert oder transmittiert, usw.

Dabei weist beispielsweise -zum Zwecke einer Simulation mit eingeschränktem Aufwand- jedes Bildelement einen im wesentlichen rechteckigen Umriß mit etwa 300 µm Höhe und 100 µm Breite auf. Hierbei würden also die Black-Matrix, die Abstrahlcharakteristik und ggf. ein das (jedes) Bildelement teilweise bedeckender Transistor unberücksichtigt bleiben. Für detaillierte Simulationen können diese Details jedoch durchaus Eingang in die Bildgebergeometrie und damit in den Verfahrensablauf finden.

Der erfindungsgemäße Schritt b) ist vorteilhaft derartig auszugestalten, daß die Filterarraygeometrie eines Filterarrays in Form eines Maskenbildes vorgegeben wird. Dabei werden Wellenlängenfilter und/oder Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  als Filterelemente in einem Array aus Zeilen q und Spalten p in Abhängigkeit von ihrer Transparenzwellenlänge/ihrem Transparenzwellen-längenbereich/ihrem Transmissionsgrad  $\lambda_b$  nach folgender Funktion zu einem solchen Maskenbild kombiniert

$$b = p - d_{pq} \cdot q - n_m \cdot \text{IntegerPart} \left[ \frac{p - d_{pq} \cdot q - 1}{n_m} \right], \text{ mit}$$

- p dem Index eines Wellenlängen- bzw. Graustufenfilters  $\beta_{pq}$  in einer Zeile des Arrays,
- q dem Index eines Wellenlängen- bzw. Graustufenfilters  $\beta_{pq}$  in einer Spalte des Arrays,



- $b$  einer ganzen Zahl, die für ein Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  an der Position  $p,q$  eine der vorgesehenen Transparenzwellenlängen-/wellenlängenbereiche bzw. einen Transmissionsgrad  $\lambda_b$  festlegt und Werte zwischen 1 und  $b_{\max}$  haben kann,
- $n_m$  einem ganzzahligen Wert größer „Null“,
- $d_{pq}$  einer wählbaren Maskenkoeffizientenmatrix zur Variation der Erzeugung eines Maskenbildes und
- *IntegerPart* einer Funktion zur Erzeugung der größten ganzen Zahl, die das in eckige Klammern gesetzte Argument nicht übersteigt; und

wobei jedes Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  einen durch eine geschlossene Kurve beschreibbaren, bevorzugt einen vieleckigen, besonders bevorzugt rechteckigen Umriß aufweist, der in der Regel eine Filterfläche von wenigen  $10.000 \mu\text{m}^2$  bis einigen  $\text{mm}^2$  beinhaltet.

Für detailgerechte Simulationen umfaßt die Filterarraygeometrie auch weitergehende optische Eigenschaften wie etwa das Streuverhalten der Filter oder die Berücksichtigung der realen Transmissionsgrade (falls diese von den vorgegebenen Werten abweichen).

Beispielshalber wird jedes Wellenlängen- bzw. Graustufenfilterelement etwa ein Drittel so breit wie ein Bildelement ausgebildet. Das Maskenbild genüge z.B. den Parametern  $n_m=24$  und  $d_{pq}=-1=\text{const}$ , wobei  $\lambda_1.. \lambda_3$  für das sichtbare Licht vollkommen transparente Transparenzwellenlängenbereiche und  $\lambda_4.. \lambda_{24}$  für das sichtbare Licht vollkommen opake Transparenzwellenlängenbereiche sind.

Weitere beispielhafte Parameter finden sich in der schon genannten DE 10003326 C2 und in der Gebrauchsmusterschrift DE 201 21 318.4.

Vorteilhaft beschreibt die in Schritt c) vorgegebene räumliche Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber und das Filterarray in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z) jeweils eine Ebene für den Bildgeber und das Filterarray sowie jeweils die räumliche Position des linken oberen und des rechten unteren Eckpunktes des Filterarrays bzw. des Bildgebers. Für praktische Anwendungsfälle werden die jeweiligen Ebenen für den Bildgeber und das Filterarray parallel oder zumindest im wesentlichen parallel sein.



Für ein 15"-LCD weist besagtes Koordinatensystem z.B. als Maßeinheit Millimeter auf. Beispielhaft genügt die Bildgeberebene dem Parameter  $z=0$  mm und die Filterarrayebene der Bedingung  $z \in [-20...20 \text{ mm}]$ . Die Position des jeweils linken oberen Eckpunkts des Filterarrays bzw. des Bildgebers genügt den Parametern  $x=y=0$  mm, und die Position des jeweils rechten unteren Eckpunkts des Filterarrays bzw. des Bildgebers genügt z.B. den Parametern  $x=307,2$  mm  $y=230,4$  mm.

Aus den Parametern ist im Falle der Parallelität der Ebenen für den Bildgeber und das Filterarray der Abstand zwischen selbigen entnehmbar, welcher in Verbindung mit der in der oben genannten DE 10003326 C2 beschriebenen Gleichung zu besagtem Abstand („ $z$ “) einen ausgewählten Betrachtungsabstand „ $d_a$ “ impliziert. Damit ist ein beispielhafter Betrachtungsabstand vor dem Filterarray gegeben, der bei einer weiteren Durchführung des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens beim Schritt d) der Vorgabe der monokularen Betrachtungspositionen gegebenenfalls Berücksichtigung finden kann.

Die letztgenannten beispielhaften Parameter dienen nur der plakativen Erläuterung; selbstverständlich können auch andere Werte für das erfindungsgemäße Simulationsverfahren vorgegeben werden.

Zur Anordnungsgeometrie zählen für sophistische Simulationen mitunter auch solche hilfswisen Anordnungsbestandteile wie Substrate, welche etwa als Trägersubstrate von Filterarrays fungieren, einschließlich ihrer optischen Eigenschaften.

Die in Schritt d) in dem dreidimensionalen Koordinatensystem  $(X,Y,Z)$  vorzugebenden monokularen Betrachtungspositionen vor der Anordnungsgeometrie erfüllen vorteilhaft die Bedingung, daß die Absolutwerte der Koordinatenkomponenten  $X$ ,  $Y$  bzw.  $Z$  jeweils kleiner als das Dreifache der Bilddiagonale der vorgegebenen Bildgebergeometrie sind, insofern der Ursprung des Koordinatensystems  $(X,Y,Z)$  sich innerhalb des Bildgebers oder des Filterarrays befindet. Diese Vorgaben nicht erfüllende Koordinaten für die monokularen Betrachtungspositionen sind jedoch ebenfalls möglich.

Weiterhin ist es von Vorteil, das in Schritt e) vorzugebende Kombinationsbild nach folgender Vorschrift zu erstellen:

- Einteilen der Ansichten  $A_k$  ( $k=1...n$ ) in ein jeweils gleichartiges Raster mit Zeilen  $j$  und Spalten  $i$ ,



- Kombinieren der  $n$  Ansichten  $A_k$  in Zeilen und Spalten miteinander, um ein einziges Kombinationsbild mit Bildelementen  $\alpha_{ij}$  zu erzeugen, wobei die Zuordnung von Teilinformationen aus den Ansichten  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) zu Bildelementen  $\alpha_{ij}$  der Positionen  $i,j$  nach der Funktion festgelegt ist

$$k = i - c_{ij} \cdot j - n \cdot \text{IntegerPart} \left[ \frac{i - c_{ij} \cdot j - 1}{n} \right], \text{ mit}$$

- $i$  dem Index eines Bildelementes  $\alpha_{ij}$  in einer Zeile des Rasters,
- $j$  dem Index eines Bildelementes  $\alpha_{ij}$  in einer Spalte des Rasters,
- $k$  der fortlaufenden Nummer des Bildes  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ), aus dem die Teilinformation stammt, die auf einem bestimmten Bildelement  $\alpha_{ij}$  wiedergegeben werden soll,
- $c_{ij}$  einer wählbaren Koeffizientenmatrix zur Kombination bzw. Mischung der verschiedenen von den Bildern  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) stammenden Teilinformationen auf dem Raster und
- *IntegerPart* einer Funktion zur Erzeugung der größten ganzen Zahl, die das in eckige Klammern gesetzte Argument nicht übersteigt.

Eine derartige Kombinationsvorschrift zur Erstellung von Kombinationsbildern aus mehreren Ansichten ist bereits in der DE 10003326 C2 beschrieben.

Abweichend hiervon kommt eine weitere vorteilhafte Möglichkeit zur Erstellung des Kombinationsbildes in Frage, bei der mindestens einem Bildelement Bildteilinformationen aus mindestens zwei Ansichten zugeordnet wird. Derartige Bildteilinformationen mindestens zweier Ansichten werden auf mindestens einem Bildelement quasi gewichtet gemischt dargestellt. Dieser neuartige Ansatz ist in einer noch nicht veröffentlichten Anmeldung der Anmelderin näher beschrieben. Das in Schritt e) vorzugebende Kombinationsbild wird dabei bevorzugt nach folgender Vorschrift erstellt:

- Einteilen der Ansichten  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) in ein jeweils gleichartiges Raster mit Zeilen  $j'$  und Spalten  $i'$ , wodurch ein Tensor  $A_{kij'}$  dritter Stufe entsteht, welcher die Bildinformationen der Ansichten  $k$  ( $k=1\dots n$ ) in dem jeweils gleichartigen Raster  $(i', j')$  enthält,
- Kombinieren der Bildinformationen  $A_{kij'}$  miteinander, um ein einziges Kombinationsbild mit Bildelementen  $\alpha_{ij}$  in einem Raster  $(i,j)$  zu erzeugen, wobei die Zuordnung von Teilinformationen aus den Tensorelementen  $A_{kij'}$  ( $k=1\dots n$ ) zu Bildelementen  $\alpha_{ij}$  an den Positionen  $i,j$  des Rasters  $(i,j)$  nach der Funktion festgelegt ist



$$\alpha_{ij} = \sum_k \sum_{i'} \sum_{j'} A_{ki'j'} \cdot g_{ki'j'ij} \quad , \text{ wobei}$$

- (g) ein Tensor fünfter Stufe ist, dessen Elemente  $g_{ki'j'ij}$  reelle Zahlen sind und die Wirkung von Wichtungsfaktoren, die das Gewicht der betreffenden Teilinformation ( $A_{ki'j'}$ ) in einem Bildelement  $\alpha_{ij}$  bestimmen, haben, und

- wobei die Raster (i,j) und (i',j') bevorzugt gleich viele Spalten und gleich viele Zeilen aufweisen.

Im Hinblick auf die nachfolgenden Darlegungen sei bemerkt, daß ein durch den jeweiligen Bildgeber bedingter funktionaler Zusammenhang zwischen dem Einstellwert (Digitalwert) für jedes Bildelement und die durch entsprechende Bildelement erzeugte meßbare Leuchtdichte besteht. Wird im folgenden von der Modifikation eines Einstellwertes gesprochen, so wird selbstredend davon ausgegangen, daß ein veränderter Einstellwert eine ebenfalls veränderte meßbare Leuchtdichte auf dem entsprechenden Bildelement zur Folge hat. Als Einstellwerte kommen hier vorteilhaft ganzzahlige Werte im Wertebereich von 0 bis 255 für jeweils die Grundfarben Rot, Grün und Blau in Frage. Die digitalisierte Form eines (farbigen) Bildes, z.B. des Kombinationsbildes, umfaßt demnach also eine Wertematrix, welche als Einträge eine Fülle solcher Einstellwerte enthält. Liegt ein RGB-Bildgeber zu Grunde, wird ein vollfarbiges Bildelement (Vollfarbpixel) in der Regel durch ein Triplet solcher Einstellwerte repräsentiert, nämlich durch jeweils eines für Rot, Grün und Blau. Demgegenüber ist mit dem Wort „Bildelement“ im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere die kleinste physische Einheit eines Bildgebers, also z.B. ein R-, G- oder B-Farbsubpixel, gemeint.

Dies vorausgeschickt, wird die im erfindungsgemäßen Verfahrensschritt Schritt f) genannte Ermittlung jedes der sekundären Bilder bevorzugt wie folgt durchgeführt:

- Kopieren des Kombinationsbildes (mit den Bildelementen  $\alpha_{ij}$ ) in das entsprechende zu erstellende sekundäre Bild,
- Ermittlung für jedes einzelne kopierte Bildelement im sekundären Bild, welcher Flächenanteil desselben für ein Betrachterauge an der entsprechenden Betrachtungsposition sichtbar ist, wobei die vorgegebene Filterarraygeometrie, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie berücksichtigt werden, sowie
- Modifikation (a) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild durch Multiplikation seines ursprünglichen Einstellwertes mit dem Flächenquotienten „ermittelter sichtbarer Flächenanteil jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild dividiert durch volle Fläche des entsprechenden Bildelementes“ und/oder



Modifikation (b) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild durch Multiplikation seines ursprünglichen bzw. bereits modifizierten Einstellwertes mit einem Korrekturfaktor  $f_k$ , für den bevorzugt  $0 \leq f_k \leq 1$  gilt, und der ein Maß für den wellenlängenabhängigen bzw. wellenlängenunabhängigen Transmissionsgrad aller zwischen dem Betrachterauge an der entsprechenden Position und dem jeweiligen Bildelement liegenden Wellenlängen- und/oder Graustufenfilter bzw. der ein Maß für den wellenlängenabhängigen bzw. wellenlängenunabhängigen Transmissionsgrad aller dem jeweiligen Bildelement aus der entsprechenden Betrachtungsrichtung nachfolgenden Wellenlängen- und/oder Graustufenfilter ist.

Es wird mit anderen Worten jedes kopierte Bildelement im sekundären Bild, welches eingangs exakt dem vorgegebenen Kombinationsbild entsprach, modifiziert, wobei die Modifikation mitunter auch ein unverändertes Bildelement bzw. einen unveränderten Einstellwert eines Bildelementes zur Folge haben kann. Die Modifikation (a) bezieht sich hierbei auf eine Modulation des Einstellwertes, die zum einen daher rührt, daß auf Grund des/der Filterarray(s) vor oder/und hinter dem Bildgeber von einigen derartigen Bildelementen von der jeweiligen monokularen Betrachtungsposition aus nur ein Teil oder gar nichts sichtbar ist. Entsprechend würde der jeweilige Bildelementeinstellwerte modifiziert.

Zum anderen rührt die Modifikation (b) von der Beeinflussung der wahrnehmbaren Leuchtdichte der entsprechenden Bildelemente auf Grund der genannten Transmissionsgrade der relevanten Wellenlängen- oder Graustufenfilter her. In letzterem Zusammenhang kann es beispielsweise auch eine Rolle spielen, daß für die Simulation reale Parameter vorgegeben werden, das heißt zum Beispiel für ein rotes Filter wird die Lichtintensität zu nur 50% im roten Wellenlängenbereich transmittierend vorgegeben, um weitestgehend reale Ergebnisse (und nicht nur theoretisch bei absolut idealen Filtern vorkommende) zu ermitteln.

Die Ermittlung der sekundären Bilder geschieht also insbesondere unter Berücksichtigung der dem jeweiligen Bildelement zugeordneten Wellenlänge/des zugeordneten Wellenlängenbereiches und unter Berücksichtigung aller zwischen dem Betrachterauge an der entsprechenden Position liegenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter bzw. unter Berücksichtigung aller dem jeweiligen Bildelement aus der entsprechenden Betrachtungsrichtung nachfolgenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter.

Bei den vorstehend genannten, für Schritt f) näher beschriebenen Modifikationen (a) und (b) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild sollte



vorzugsweise noch eine vorzugebende Funktion berücksichtigt werden. Besagte vorzugebende Funktion beschreibt für einen vorzugebenden Bildgeber den funktionalen Zusammenhang zwischen der meßbaren Leuchtdichte eines Bildelementes und dessen Einstellwert, d.h. dem eingestellten Digitalwert, welcher in der Regel Werte von 0 bis 255 annimmt.

Die besagte Funktion kann beispielsweise empirisch ermittelt werden, indem für die verschiedenen Wellenlängenbereiche, z.B. die roten, grünen und blauen Wellenlängenbereiche, vollflächige Testbilder mit jeweils verschiedenen Einstellwerten auf dem entsprechenden Bildgeber dargestellt werden und die entsprechende Leuchtdichte gemessen wird.

Für besondere Anwendungsfälle kann es auch sinnvoll sein, mehr als nur zwei sekundäre Bilder für entsprechend mehr als zwei monokulare Betrachtungspositionen nach der erfindungsgemäßen Lehre zu ermitteln.

Die im erfindungsgemäßen Schritt f) genannte Ermittlung jedes der sekundären Bilder kann außerdem wie folgt durchgeführt werden:

- Flächiges Abrastern des der jeweiligen monokularen Betrachtungsposition gemäß der vorgegebenen Anordnungsgeometrie nächstliegenden flächigen Bauteiles, d.h. entweder eines Filterarrays oder des Bildgebers, und mit dem flächigen Abrastern einhergehende Erstellung eines hinreichend aufgelösten sekundären Bildes, welches ein im wesentlichen korrektes Abbild der entsprechenden sichtbaren Flächenanteile der Bildelemente des Kombinationsbildes bzw. der durch die Bildelemente des Kombinationsbildes beleuchteten Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter ist, wobei die vorgegebene Filterarraygeometrie –insbesondere wellenlängenabhängige bzw. wellenlängenunabhängige Transmissionsgrade der Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter-, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie berücksichtigt werden.

Auch hier geschieht die Erstellung des jeweiligen sekundären Bildes wieder insbesondere unter Berücksichtigung der dem jeweiligen Bildelement zugeordneten Wellenlänge/des zugeordneten Wellenlängenbereiches und unter Berücksichtigung aller zwischen dem Betrachterauge an der entsprechenden Position liegenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter bzw. unter Berücksichtigung aller dem jeweiligen Bildelement aus der entsprechenden Betrachtungsrichtung nachfolgenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter.



Besagtes flächige Abrastern geschieht vorzugsweise nach (virtuell vorgegebenen) Zeilen und Spalten, wobei hier je nach erforderlicher Güte der Simulationsergebnisse jeweils mehrere tausend Zeilen und Spalten angesetzt werden sollten.

Die Erzeugung des im wesentlichen korrekten Abbildes der entsprechenden sichtbaren Flächenanteile der Bildelemente des Kombinationsbildes bzw. der durch die Bildelemente des Kombinationsbildes beleuchteten Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter kann beispielsweise unter Anwendung von bekannten Raytracing-Algorithmen stattfinden. Dabei sind auch die vorgegebene Filterarraygeometrie –insbesondere wellenlängenabhängige bzw. wellenlängen-unabhängige Transmissionsgrade der Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter-, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie einbeziehbar.

Bei der vorstehend genannten, für Schritt f) näher beschriebenen Ermittlung des sekundären Bildes vermöge besagten Abrasterns sollte vorzugsweise auch noch eine vorzugebende Funktion berücksichtigt werden. Besagte vorzugebende Funktion beschreibt für einen vorzugebenden Bildgeber, etwa für einen solchen, der den vorgegebenen Bildgebergeometrieanforderungen genügt, den Zusammenhang zwischen der meßbaren Leuchtdichte eines Bildelementes und dessen Einstellwert.

Selbstverständlich kann der erfindungsgemäße Verfahrensschritt f) noch auf andere Weise umgesetzt werden.

Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß in Schritt g) eine getrennte Ausgabe der sekundären Bilder für das linke und rechte Auge erfolgt, wobei die sekundären Bilder örtlich nebeneinander, örtlich ineinander verschachtelt oder zeitlich nacheinander vermöge eines Bildgebers, beispielsweise einer Kathodenstrahlröhre, eines LC-Displays, eines DMD-Projektors oder eines Plasma-Displays, dargestellt werden. Dabei findet die Ausgabe der sekundären Bilder besonders bevorzugt vermöge eines solchen Bildgebers statt, der die in Schritt a) vorgegebene Bildgebergeometrie, insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe, aufweist.

Im Rahmen der vorgenannten getrennten Ausgabe der sekundären Bilder für das linke und das rechte Auge wird bei einem Betrachter vermöge eines stereoskopischen Visualisierungsverfahrens eine visuelle Fusion des sekundären Bildpaares oder eine visuelle Fusion vergrößerter Ausschnitte des sekundären Bildpaares zu einem virtuellen 3D-Eindruck



herbeigeführt. Dies kann beispielsweise mit oder ohne Stereoskop geschehen. Sowohl die ungekreuzte als auch die gekreuzte Fusion sind vorteilhaft nutzbar.

Optional kommt ebenfalls eine vergrößerte Ausgabe des Kombinationsbildes bzw. eines Ausschnittes desselben in Betracht, wobei die Farbe der Bildelemente (z.B. der Subpixel R,G,B) und die Nummer der entsprechenden, dem betreffenden Bildelement zugeordneten Ansicht(en)  $A_k$  (1..n) sichtbar ausgegeben werden. Zuzüglich zu dieser Information kann dann entweder der zugehörige modifizierte Einstellwert oder der sichtbare Flächenumriß (je nach Ausgestaltung des Schrittes f) ) ausgegeben werden.

Für besondere Simulationen mag es ferner von Vorteil sein, eine bildelementgenaue und vorzugsweise flächenleuchtdichtgenaue Ausgabe der sekundären Bilder durchzuführen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist ferner derart erweiterbar, daß nach oder parallel zu der Ausführung des Verfahrensschrittes g) ein zusätzlicher Verfahrensschritt h) ausgeführt wird, der folgendes beinhaltet:

- räumlich versetzter und/oder zeitlich versetzter Vergleich des stereoskopisch sichtbar gemachten ersten und zweiten sekundären Bildes mit einem stereoskopisch sichtbar gemachten Bildpaar aus den Ansichten  $A_k$ , wobei bevorzugt für die stereoskopische Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes als auch für die stereoskopische Sichtbarmachung des Bildpaares aus den Ansichten  $A_k$  jeweils ein Bildgeber mit in etwa gleichen Parametern verwendet wird.

Optional werden dabei nur jeweils Ausschnittvergrößerungen besagter Bilder stereoskopisch sichtbar gemacht.

Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren zweckmäßig nach oder parallel zu der Ausführung des Verfahrensschrittes g) oder h) noch um einen Verfahrensschritt i), der folgendes beinhaltet, erweitert werden:

- Variation der ersten und/oder der zweiten Betrachtungsposition in mindestens einer ihrer Koordinaten im Koordinatensystem (X,Y,Z) sowie erneute Durchführung der Schritte e) bis g) bzw. e) bis h), sowie optional beliebig häufige Wiederholung des vorstehend beschriebenen Schrittes i).

Vermöge dieses Verfahrensschrittes i) ist es möglich, an diversen monokulären Betrachtungspositionen vor der simulierten Anordnung, bestehend aus Bildgeber und Filterarray(s), Aussagen über die sichtbaren Bildelemente zu treffen. Sind ausreichend viele



Stützstellen (d.h. monokulare Betrachtungspositionen) simuliert worden, werden qualitative Aussagen über die Beschaffenheit des Betrachtungsraumes ermöglicht. Ein guter Kompromiß zwischen Simulationsaufwand (d.h. -häufigkeit) und Stützstellenhäufigkeit im Betrachtungsraum ergibt sich, falls die Koordinaten in x-Richtung bzw. horizontal vor dem Bildgeber um jeweils ganzzahlige Vielfache von 65 mm verändert werden. Der Wert 65 mm entspricht der durchschnittlichen Pupillendistanz beim Menschen.

Die Variation des Simulationsverfahrens kann überdies auch noch auf andere vorteilhafte Weise geschehen: Wird beispielsweise eine oder mehrere der Vorgaben in den Schritten a), b) und/oder c), d.h. die Bildgebergeometrie, die Filterarraygeometrie, und/oder die räumliche Anordnungsgeometrie von Simulation zu Simulation (d.h. von einer gesamten Ausführung des Verfahrens zu einer weiteren Ausführung des gesamten Simulationsverfahrens) variiert, so können unterschiedliche Bildgeber- und/oder Filterarray- und/oder Anordnungsgeometrien hinsichtlich ihrer sichtbaren Bildelemente an einer oder mehreren Betrachtungspositionen miteinander verglichen werden. Derartige Vergleiche sind für die Weiterentwicklung von Anordnungen zur räumlichen Darstellung mittels Filterarray(s) und Bildgebern von großer Hilfe. Hierzu können im übrigen noch weitere Kriterien zur Bewertung der ermittelten sekundären Bilder herangezogen werden, etwa die Anzahl der sichtbaren Bildelemente an einer vorgegebenen monokularen Betrachtungsposition bzw. deren spektrale Zusammensetzung.

Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch eine Anordnung zur Umsetzung des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens, umfassend:

- a) Mittel zur digitalen Vorgabe der Bildgebergeometrie eines Bildgebers, insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe,
- b) Mittel zur digitalen Vorgabe der Filterarraygeometrie eines Filterarrays, insbesondere hinsichtlich Filterelementstruktur und -größe,
- c) Mittel zur digitalen Vorgabe einer räumlichen Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber und das Filterarray in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- d) Mittel zur digitalen Vorgabe einer ersten und einer zweiten monokularen Betrachtungsposition vor besagter Anordnungsgeometrie in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- e) Mittel zur Vorgabe eines Kombinationsbildes, welches für die Darstellung auf der vorgegebenen Bildgebergeometrie geeignet ist und welches in definierter Zuordnung zu den



Bildelementen Bildinformationen aus verschiedenen gegebenen primären Bildern, welche verschiedenen Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) einer virtuellen oder realen Szene bzw. eines virtuellen oder realen Gegenstandes identisch sind, enthält,

f) Mittel zur Ermittlung eines ersten und eines zweiten sekundären Bildes, welches die auf Grund der vorgegebenen Filterarraygeometrie in Verbindung mit der vorgegebenen Bildgebergeometrie und der räumlichen Anordnungsgeometrie für ein Betrachterauge an der jeweils vorgegebenen ersten und zweiten monokularen Betrachtungsposition sichtbaren Bildelemente des vorgegebenen Kombinationsbildes enthält, wobei ein Bildelement eines sekundären Bildes explizit auch lediglich einen Teil eines Bildelementes des vorgegebenen Kombinationsbildes repräsentieren kann, sowie

g) Mittel zur stereoskopischen Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes oder Teile dieser sekundären Bilder als jeweils linkes bzw. rechtes stereoskopisches Bild.

Die Mittel a) bis f) werden bevorzugt in einer Baueinheit als ein mit Software gesteuerter PC ausgebildet.

Ferner kommen bevorzugt als Mittel g) ein Stereoskop oder eine Shutterbrille und ein Monitor in Frage. Es ist aber auch denkbar, bei der stereoskopischen Sichtbarmachung eine rein visuelle Fusion ohne jedwede Hilfsmittel auszunutzen. Auf diese Weise werden Ergebnisverfälschungen auf Grund der Unvollkommenheit der Mittel zur stereoskopischen Sichtbarmachung vermieden.

Es ist im übrigen auch denkbar, beim erfindungsgemäßen Schritt b) keine Filterarraygeometrie, sondern eine andere optische Eigenschaften beschreibende Geometrie, beispielsweise die eines Lentikularschirms, vorzugeben. Vorzugsweise wird dabei eine solche Geometrie für optische Bauteile vorgegeben, die bereits im Stand der Technik in Zusammenhang mit der räumlichen Darstellung verwendet wird. Die nachfolgenden Verfahrensschritte werden dann entsprechend ihrer Lehre an die Substitution des Filterarrays durch besagte andere Geometrie, welche bestimmte optische Eigenschaften beschreibt, angepaßt. Selbst die Simulation des 3D-Eindrucks einer 3D-Brille, etwa einer Anaglyphenbrille, ist somit im Rahmen der hier vorgestellten Lehre durchführbar.

Überdies kann das erfindungsgemäße Verfahren noch um eine zeitliche Komponente erweitert werden, etwa um den 3D-Eindruck räumlicher Bewegtbilder auf einer bestimmten Anordnung zu simulieren oder aber um die zeitlich-veränderlichen Eigenschaften von



bestimmten zeitlich-sequentiellen 3D-Darstellungsverfahren, etwa von Shutterbrillen-anordnungen, mit in die Simulation einzubeziehen.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigt

Fig.1 eine Prinzipskizze zur Veranschaulichung möglicher Details im Zusammenhang mit der Filterarray-, Bildgeber- und Anordnungsgeometrie,

Fig.2 eine beispielhafte Struktur für ein Wellenlängenfilterarray,

Fig.3 eine Prinzipskizze in Querschnittsdarstellung zur möglichen Wirkungsweise eines Filterarrays, welches hier beispielhaft hinter einem transluzenten bzw. transparenten Bildgeber (z.B. einem LCD) angeordnet ist,

Fig.4 ein Beispiel für eine im erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhaft verwendbare Testszene,

Fig.5 eine Prinzipskizze zu einer beispielhaften Konstellation von die acht Ansichten aufnehmenden virtuellen oder reellen Kameras, welche insbesondere die Kamerakonvergenz illustriert,

Fig.6 eine Prinzipskizze zur Erzeugung verschiedener Ansichten aus einer ersten Ansicht  $A_1$  durch horizontale Verschiebung der abgebildeten Objekte,

Fig.7 ein Beispiel einer möglichen Struktur eines aus mehreren Ansichten zusammengesetzten Kombinationsbildes,

Fig.8 ein Beispiel für eine mögliche vorgegebene Filterarraystruktur,

Fig.9 und Fig.10 beispielhafte und schematisch skizzierte Ergebnisse des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens,

Fig.11 eine Prinzipskizze zur Ermittlung eines durch ein rotes Wellenlängenfilter sichtbaren Flächenanteils eines roten Bildelementes,

Fig.12 beispielhafte Diagramme zum funktionalen Zusammenhang der meßbaren Leuchtdichte mit den digitalen Einstellwerten für ein beispielhaftes LCD, und

Fig.13 ein Beispiel für eine erste und zweite Ansicht und ein Beispiel für ein mögliches Simulationsergebnis auf der Basis dieser Ansichten in schematischer Darstellung.

Die Fig.1 zeigt eine Prinzipskizze zur Veranschaulichung möglicher Details im Zusammenhang mit der Filterarray-, Bildgeber- und Anordnungsgeometrie. Dabei ist ein Bildgeber (1) und ein Filterarray (2) mit einer Vielzahl von Wellenlängen- und/oder Graustufenfiltern (3), von denen hier nur wenige zeichnerisch sichtbar gemacht sind,



dargestellt. Ferner ist schemenhaft eine beispielhafte Struktur (4) eines Kombinationsbildes, welches aus mehreren Ansichten  $A_k$  zusammengesetzt ist und welches auf dem Bildgeber (1) angezeigt werden kann, eingezeichnet. Außerdem ist ein dreidimensionales Koordinatensystem (X,Y,Z) dargestellt. Mit dem Bezugszeichen (5) sind zwei beispielhafte monokulare Betrachtungspositionen im Koordinatensystem (X,Y,Z) versehen.

Unter Zugrundelegung der Fig.1 wird nun die Ausführung des eingangs beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren zur Simulation von räumlichen Seheindrücken näher erläutert.

Wie bereits dargelegt lauten die Verfahrensschritte:

- a) Vorgabe der Bildgebergeometrie eines Bildgebers (1), insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe,
- b) Vorgabe der Filterarraygeometrie eines Filterarrays (2), insbesondere hinsichtlich Filterelementstruktur und -größe,
- c) Vorgabe einer räumlichen Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber (1) und das Filterarray (2) in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- d) Vorgabe einer ersten und einer zweiten monokularen Betrachtungsposition (5) vor besagter Anordnungsgeometrie in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- e) Vorgabe eines Kombinationsbildes, welches für die Darstellung auf der vorgegebenen Bildgebergeometrie geeignet ist und welches in definierter Zuordnung zu den Bildelementen Bildinformationen aus verschiedenen gegebenen primären Bildern, welche verschiedenen Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) einer virtuellen oder realen Szene bzw. eines virtuellen oder realen Gegenstandes identisch sind, enthält,
- f) Ermittlung eines ersten und eines zweiten sekundären Bildes, welches die auf Grund der vorgegebenen Filterarraygeometrie in Verbindung mit der vorgegebenen Bildgebergeometrie und der räumlichen Anordnungsgeometrie für ein Betrachterauge an der jeweils vorgegebenen ersten und zweiten monokularen Betrachtungsposition (5) sichtbaren Bildelemente des vorgegebenen Kombinationsbildes enthält, wobei ein Bildelement eines sekundären Bildes explizit auch lediglich einen Teil eines Bildelementes des vorgegebenen Kombinationsbildes repräsentieren kann, sowie
- g) stereoskopische Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes oder Teile dieser sekundären Bilder als jeweils linkes bzw. rechtes stereoskopisches Bild.

Die Vorgabe der Bildgebergeometrie eines Bildgebers (1) in Schritt a) beinhaltet insbesondere die Vorgabe der Bildelementstruktur und -größe. Nach der Darstellung aus Fig.1 würde beispielhaft eine RGBRGBRGB...-Struktur des Bildgebers vorgegeben sein, so



wie es für viele LCD und Plasmabildschirme der Fall ist. Die einzelnen Farbsubpixel R, G, B sind z.B. rechteckig, eine eventuell vorhandene Black-Matrix sei zunächst vernachlässigt. Beispielfhaft könnten die Farbsubpixel R, G, B jeweils  $300\mu\text{m}$  hoch und  $100\mu\text{m}$  breit vorgegeben werden, wobei insgesamt 3072 Spalten und 768 Zeilen vorgesehen sein können. Dies entspricht einer Vollfarbauflösung von  $1024 \times 768$  Pixeln, d.h. einer XGA-Auflösung. Die genannten Abmaße sind für ein 15" LCD typisch.

Bei Schritt b), d.h. bei der Vorgabe der Filterarraygeometrie eines Filterarrays (2), insbesondere hinsichtlich Filterelementstruktur und -größe, würde hier beispielsweise die in Fig.2 (ausschnittsweise) gezeigte Filterarraystruktur vorgegeben werden. Jedes einzelne Filterelement (3) auf dem Array, d.h. jedes einzelne Wellenlängenfilter bzw. Graustufenfilter (3), habe eine im wesentlichen rechteckige Form mit einer Höhe von  $299,3\mu\text{m}$  und einer Breite von  $99,77\mu\text{m}$ . In der Zeichnung sind für den roten Wellenlängenbereich transparente Filterelemente (3) mit R', grüne mit G' und blaue mit B' gekennzeichnet. Ein schwarzer Abschnitt auf dem Filterarray (2) in Fig.1 bzw. ein mit „S“ gekennzeichnetes Filterelement in Fig.2 entspricht jeweils einem bzw. mehreren lichtundurchlässigen, also opaken Filterelementen (3). Es seien auf dem Filterarray (2) so viele Zeilen und Spalten vorgesehen, daß eine mindestens ebenso große Fläche mit Filterelementen (3) bedeckt wird, wie der Bildgeber (1) als bildgebende Oberfläche aufweist. Es ist im übrigen in Fig.1 nur ein Ausschnitt von Filterelementen (3) auf dem Filterarray (2) angedeutet.

Die Vorgabe einer räumlichen Anordnungsgeometrie in Schritt c) im Bezug auf den Bildgeber (1) und das Filterarray (2) in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z) umfaßt insbesondere eine Information zur (Relativ)anordnung des Bildgebers (1) und des Filterarrays (2).

Vorteilhaft beschreibt die vorgegebene räumliche Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber (1) und das Filterarray (2) in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z) jeweils eine Ebene für den Bildgeber (1) und das Filterarray (2) sowie jeweils die räumliche Position des linken oberen und des rechten unteren Eckpunktes des Filterarrays (2) bzw. des Bildgebers (1). Für praktische Anwendungsfälle werden die jeweiligen Ebenen für den Bildgeber (1) und das Filterarray (2) meistens parallel oder zumindest im wesentlichen parallel sein.

Für ein 15"-LCD weist besagtes Koordinatensystem z.B. als Maßeinheit Millimeter auf. Die Bildgeberebene genügt beispielsweise dem Parameter  $z=0\text{ mm}$  und die Filterarrayebene der



Bedingung  $z \in [-20...20 \text{ mm}]$ , gemäß der Zeichnung Fig.1 genau genommen  $z \in [0...20 \text{ mm}]$ , da sich das Filterarray (2) in Betrachtungsrichtung vor dem Bildgeber (1) befindet. Die Position des jeweils linken oberen Eckpunkts des Filterarrays (2) bzw. des Bildgebers (1) genügt den Parametern  $x=y=0 \text{ mm}$ , und die Position des jeweils rechten unteren Eckpunkts des Filterarrays (2) bzw. des Bildgebers (1) genügt den Parametern  $x=307,2 \text{ mm}$   $y=230,4 \text{ mm}$ . Aus den Parametern ist im Falle der Parallelität der Ebenen für den Bildgeber (1) und das Filterarray (2) der Abstand zwischen selbigen entnehmbar, welcher in Verbindung mit der in der oben genannten DE 10003326 C2 beschriebenen Gleichung zu besagtem Abstand („ $z$ “) einen ausgewählten Betrachtungsabstand „ $d_a$ “ impliziert. Damit ist ein beispielhafter Betrachtungsabstand  $d_a$  gegeben, der bei einer weiteren Durchführung des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens beim Schritt d) der Vorgabe der monokularen Betrachtungspositionen (5) gegebenenfalls Berücksichtigung finden kann.

Die letztgenannten beispielhaften Parameter dienen nur der plakativen Erläuterung; selbstverständlich können auch andere Werte für das erfindungsgemäße Simulationsverfahren vorgegeben werden.

Zur Anordnungsgeometrie zählen für sophistizierte Simulationen mitunter auch solche hilfswisen Anordnungsbestandteile wie Substrate, welche etwa als Trägersubstrate von Filterarrays fungieren, einschließlich ihrer optischen Eigenschaften.

Erneut bezugnehmend auf Fig.1 erläutert sich die unter Schritt d) vorgenommene Vorgabe einer ersten und einer zweiten monokularen Betrachtungsposition (5) vor besagter Anordnungsgeometrie in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z) quasi von selbst. Es liegen dann beispielsweise zwei Sätze von Koordinaten  $(X_1, Y_1, Z_1)$  bzw.  $(X_2, Y_2, Z_2)$  vor, welche besagte zwei monokularen Betrachtungspositionen (5) klar definieren. Die Betrachtungspositionen (5) in Fig.1 sind schematisch durch zwei Augen angedeutet. Beispielhaft können die Betrachtungspositionskoordinaten wie folgt gewählt sein:  $(X_1=150 \text{ mm}, Y_1=115 \text{ mm}, Z_1=700 \text{ mm})$  bzw.  $(X_2=215 \text{ mm}, Y_2=115 \text{ mm}, Z_2=700 \text{ mm})$ .

Zurückkommend auf Schritt e), der die Vorgabe eines Kombinationsbildes umfaßt, welches für die Darstellung auf der vorgegebenen Bildgebergeometrie geeignet ist und welches in definierter Zuordnung zu den Bildelementen Bildinformationen aus verschiedenen gegebenen primären Bildern, welche verschiedenen Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) einer virtuellen oder realen Szene bzw. eines virtuellen oder realen Gegenstandes identisch sind, enthält, wird auf die



Bildkomponente (4) in Fig.1 verwiesen. Hier ist schemenhaft und in einem kleinen Ausschnitt eine mögliche Bildkombinationsstruktur vorgegeben. Dabei bedeuten die Buchstaben R, G, B jeweils die roten, grünen und blauen Subpixelspalten (Bildelementspalten) eines Bildgebers (1); jede Zahl von 1 bis 8 indiziert die Nummer der Ansicht  $A_k$  ( $k=1..8$ ) aus der die an der jeweiligen Bildposition im Kombinationsbilde wiederzugebende Bildteilinformation herrührt. Ein etwas größerer Ausschnitt derselben Bildkombinationsstruktur ist in Fig.7 gezeigt und wird weiter unten noch näher diskutiert.

Zur näheren Erläuterung des Schrittes f) mit der Ermittlung eines ersten und eines zweiten sekundären Bildes, welches die auf Grund der vorgegebenen Filterarraygeometrie in Verbindung mit der vorgegebenen Bildgebergeometrie und der räumlichen Anordnungsgeometrie für ein Betrachterauge an der jeweils vorgegebenen ersten und zweiten monokularen Betrachtungsposition (5) sichtbaren Bildelemente des vorgegebenen Kombinationsbildes enthält, wobei ein Bildelement eines sekundären Bildes explizit auch lediglich einen Teil eines Bildelementes des vorgegebenen Kombinationsbildes repräsentieren kann, sei auf Fig.3 verwiesen. Hier sind auch wieder schematisch ein Bildgeber (1) und ein Filterarray (2) gezeigt, wobei zusätzlich noch eine weißes Licht flächig abstrahlende Hintergrundbeleuchtung (6) vorgesehen ist. Die Anordnung nach Fig.3 differiert insofern von der Anordnung nach Fig.1, als daß hier das Filterarray (2) in Betrachtungsrichtung hinter dem Bildgeber (1) liegt. Selbstverständlich muß es sich bei diesem Bildgeber (1) um einen transparenten, transluzenten oder zumindest transflektiven Bildgeber (1) handeln, damit das Filterarray (2) zur Wirkung kommt. In Fig.3 sind wiederum zwei monokulare Betrachtungspositionen (5) schematisch angedeutet.

Die im erfindungsgemäßen Verfahrensschritt Schritt f) genannte Ermittlung jedes der sekundären Bilder wird bevorzugt wie folgt durchgeführt:

- Kopieren des Kombinationsbildes (mit den Bildelementen  $\alpha_{ij}$ ) in das entsprechende zu erstellende sekundäre Bild,
- Ermittlung für jedes einzelne kopierte Bildelement im sekundären Bild, welcher Flächenanteil desselben für ein Betrachterauge an der entsprechenden Betrachtungsposition (5) sichtbar ist, wobei die vorgegebene Filterarraygeometrie, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie berücksichtigt werden, sowie
- Modifikation (a) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild durch Multiplikation seines ursprünglichen Einstellwertes mit dem Flächenquotienten



„ermittelter sichtbarer Flächenanteil jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild dividiert durch volle Fläche des entsprechenden Bildelementes“ und/oder Modifikation (b) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild durch Multiplikation seines ursprünglichen bzw. bereits modifizierten Einstellwertes mit einem Korrekturfaktor  $f_k$ , für den bevorzugt  $0 \leq f_k \leq 1$  gilt, und der ein Maß für den wellenlängenabhängigen bzw. wellenlängenunabhängigen Transmissionsgrad aller zwischen dem Betrachterauge an der entsprechenden Position und dem jeweiligen Bildelement liegenden Wellenlängen- und/oder Graustufenfilter (3) bzw. der ein Maß für den wellenlängenabhängigen bzw. wellenlängenunabhängigen Transmissionsgrad aller dem jeweiligen Bildelement aus der entsprechenden Betrachtungsrichtung nachfolgenden Wellenlängen- und/oder Graustufenfilter (3) ist.

Es wird mit anderen Worten jedes kopierte Bildelement im sekundären Bild, welches eingangs exakt dem vorgegebenen Kombinationsbild entsprach, modifiziert. Die Modifikation bezieht sich hierbei auf eine Modulation des Einstellwertes, die zum einen daher rührt, daß auf Grund des/der Filterarray(s) vor oder/und hinter dem Bildgeber von einigen derartigen Bildelementen von der jeweiligen monokularen Betrachtungsposition (5) aus nur ein Teil oder gar nichts sichtbar ist. Entsprechend würde der jeweilige Bildelementeinstellwert modifiziert. Zum anderen rührt die Modifikation (b) von der Beeinflussung der wahrnehmbaren Leuchtdichte der entsprechenden Bildelemente auf Grund der genannten Transmissionsgrade der relevanten Wellenlängen- oder Graustufenfilter her. In letzterem Zusammenhang kann es beispielsweise auch eine Rolle spielen, daß für die Simulation reale Parameter vorgegeben werden, das heißt zum Beispiel für ein rotes Filter wird die Lichtintensität zu nur 50% im roten Wellenlängenbereich transmittierend vorgegeben, um weitestgehend reale Ergebnisse (und nicht nur theoretisch bei absolut idealen Filtern vorkommende) zu ermitteln.

Die Fig.3 ist eine Prinzipskizze in Querschnittsdarstellung zur möglichen Wirkungsweise eines Filterarrays, welches hier beispielhaft hinter einem transparenten oder transluzenten Bildgeber (z.B. einem LCD) angeordnet ist. Hieraus ist ersichtlich, daß von den beiden monokularen Betrachtungspositionen (5) aus von nahezu jedem (sichtbaren) Bildelement, d.h. Farbsubpixel, des Bildgebers (1) nur jeweils ein bestimmter flächenhafter Anteil sichtbar ist. Genau dieser sichtbare Anteil liegt der vorstehend beschriebenen Modulation (a) des Einstellkeitswertes zu Grunde. Die Farbsubpixel sind hier mit R, G bzw. B gekennzeichnet.



In der Praxis ist es selbstverständlich auch möglich, das o.g. Kopieren des Kombinationsbildes, die Ermittlung der sichtbaren Flächenanteile sowie die Modifikationen (a) und/oder (b) der Einstellwerte quasi gleichzeitig oder in einer anderen Reihenfolge, welche die angestrebte Funktionalität jedoch ebenfalls gewährleistet, oder jeweils in der genannten Reihenfolge, jedoch bildelementweise, durchzuführen.

Zur Erläuterung des Sachverhaltes von sichtbaren Flächenanteilen eines Bildelementes dient ferner die Zeichnung Fig.11. Hier ist schemenhaft eine nicht-maßstäblich und starke Ausschnittvergrößerung eines möglichen Sichtverhältnisses aus einer möglichen monokularen Betrachtungsposition abgebildet. Es handelt sich dabei um eine Prinzipskizze zur Ermittlung des durch ein rotes Wellenlängenfilter sichtbaren Flächenanteils eines Bildelementes.

Mit (R) ist ein rotes Bildelement des Kombinationsbildes bezeichnet, welches auf besagtem Bildgeber (1) repräsentiert wird. Weiterhin sind opake, also für das sichtbare Licht undurchlässige Filterelemente (Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter) (3) vorhanden, die hier als eine Einheit (S) schraffiert eingezeichnet sind. Die zeichnerisch dargestellte Einheit (S) von Filterelementen (3) kann beispielsweise auch durch enges Aneinanderlegen mehrerer opaker Filterelemente (3) gebildet werden.

Außerdem ist ein rotes Wellenlängenfilter (R'), welches sich in der Konfiguration nach Fig.1 vor dem Bildgeber (1) mit dem Bildelement (R) befindet, dargestellt. Aus Fig.11 ist ersichtlich, daß aus der zu Grunde liegenden monokularen Betrachtungsposition (5) vom Bildelement (R) des Bildgebers (1), welcher vereinbarungsgemäß ein Kombinationsbild aus mehreren Ansichten  $A_k$  repräsentiert, nur der Flächenanteil  $A_{vis}$  sichtbar ist. Dieser Flächenanteil kann z.B. über Raytracing-Verfahren ermittelt werden und dient der oben beschriebenen Modifikation (a) des Einstellwertes im entsprechenden sekundären Bild. Es entspricht hier der Flächenanteil  $A_{vis}$  dem „ermittelten sichtbaren Flächenanteil jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild“, wobei die „volle Fläche des entsprechenden Bildelementes“ hier der gesamten Fläche des Bildelementes (R) entspricht. Analog würde mit jedem Bildelement des Bildgebers (1) verfahren, natürlich auch mit den beispielsweise grünen und blauen.

Bei der vorstehend genannten, für Schritt f) näher beschriebenen Ermittlung des sekundären Bildes sollte vorzugsweise auch noch eine vorzugebende Funktion berücksichtigt werden. Besagte vorzugebende Funktion beschreibt für einen vorzugebenden Bildgeber (1), etwa für einen solchen, der den vorgegebenen Bildgebergeometrieansforderungen genügt, den



funktionalen Zusammenhang zwischen der meßbaren Leuchtdichte eines Bildelementes und dessen Einstellwert, d.h. dem jeweiligen Digitalwert, mit dem das entsprechende Bildelement angesteuert wird.

Die besagte Funktion kann beispielsweise empirisch ermittelt werden, indem für die verschiedenen Wellenlängenbereiche, z.B. die roten, grünen und blauen Wellenlängenbereiche, entsprechend gefärbte vollflächige Testbilder mit jeweils verschiedenen Einstellwerten auf dem entsprechenden Bildgeber (1) dargestellt und die entsprechende Leuchtdichte gemessen wird.

Beispielhafte Ergebnisse dieser Art sind für einen Bildgeber (1) vom Typ LG LM151X2-C2TH in den Diagrammen der Fig.12 gezeigt. Die Diagramme wurden jeweils -wie vorstehend angeregt- für vollflächige rote, grüne und blaue Testbilder aufgenommen und zeigen den o.g. funktionalen Zusammenhang zwischen Einstellwert (für jeweils rote, grüne und blaue Bildelemente) und der resultierenden Leuchtdichte auf.

Dabei ist der jeweilige Einstellwert auf der Abszisse verzeichnet. Üblicherweise werden Einstellwerte für RGB-Displays in einem Wertebereich von 0..255 (für jeweils R, G, B) angegeben. Die Ordinate spiegelt die jeweils bei einem verzeichneten Einstellwert meßbare Leuchtdichte wider.

Deutlich zu erkennen ist in besagten Diagrammen, daß ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen dem Einstellwert und der meßbaren Leuchtdichte vorliegt, so daß beispielsweise die sichtbare Hälfte eines Bildelementes nicht einfach durch die Halbierung (bei der Modifikation (a)) des Einstellwert implementiert werden kann. Hier ist vielmehr -wie schon erwähnt- eine entsprechend vorzugebende Funktion, die vorzugsweise für jeden zu behandelnden Wellenlängenbereich separat ermittelt bzw. vorgegeben wird, anzusetzen, um eine geeignete Modifikation (a) -und auch (b)- des Einstellwertes zu erzielen. Die Funktion ist beispielsweise einfach durch das entsprechende Diagramm gegeben: Soll etwa die sichtbare Hälfte eines grünen Bildelementes (welches im Kombinationsbild beispielsweise durch den höchsten Einstellwert 255 angesteuert wird) durch dessen modifizierten Einstellwert im sekundären Bild repräsentiert werden, so würde die Modifikation des Einstellwertes auf ca. den Einstellwert 185 nötig sein. Der Einstellwert 185 ist leicht aus dem mittleren Diagramm der Fig.12 abzulesen, indem ausgehend von der höchstmöglichen Leuchtdichte, die dem Einstellwert 255 entspricht, derjenige Einstellwert ausgemacht wird, dem etwa die halbe maximale Leuchtdichte entspricht.

Die vorzugebende Funktion ergänzt bzw. ersetzt demnach den oben genannten Quotienten „ermittelter sichtbarer Flächenanteil jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären



Bild dividiert durch volle Fläche des entsprechenden Bildelementes“, indem sie die durchzuführende Modifikation (a) des digitalen Einstellwertes derart erweitert, daß die aus der Einstellwertmodifikation resultierende Veränderung der Leuchtdichte (des entsprechenden Bildelementes) im richtigen Verhältnis zum o.g. Flächenanteilsquotienten durchgeführt wird.

Demgegenüber ist die Modifikation (b) durch die Beeinflussung der jeweils meßbaren Leuchtdichte der entsprechenden Bildelemente auf Grund der genannten Transmissionsgrade der relevanten Wellenlängen- oder Graustufenfilter (3) bedingt. In letzterem Zusammenhang kann es beispielsweise auch eine Rolle spielen, daß für die Simulation reale Parameter vorgegeben werden. Das heißt, für ein rotes Filterelement (3) wird z.B. die Lichtintensität zu nur 50% im roten Wellenlängenbereich transmittierend vorgegeben, um weitestgehend reale Ergebnisse (und nicht nur theoretisch bei absolut idealen Filtern vorkommende) zu ermitteln. Dieser Fall ist zeichnerisch nicht dargestellt. Auch bei der letztgenannten Modifikation (b) ist der weiter oben schon beschriebene funktionale Zusammenhang zwischen Einstellwert und meßbarer Leuchtdichte zu beachten, indem beispielsweise eine entsprechende Funktion vorgegeben oder empirisch ermittelt wird.

Die Ermittlung der sekundären Bilder geschieht also insbesondere unter Berücksichtigung der dem jeweiligen Bildelement zugeordneten Wellenlänge/des zugeordneten Wellenlängenbereiches und unter Berücksichtigung aller zwischen dem Betrachterauge an der entsprechenden Position liegenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter (3) bzw. unter Berücksichtigung aller dem jeweiligen Bildelement aus der entsprechenden Betrachtungsrichtung nachfolgenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter (3).

Zur stereoskopischen Sichtbarmachung (Schritt g)) des ersten und zweiten sekundären Bildes oder Teile dieser sekundären Bilder als jeweils linkes bzw. rechtes stereoskopisches Bild sind keine Zeichnungen beigelegt, da hierzu im Stand der Technik diverse Ansätze existieren.

Wie eingangs erwähnt ist es von Vorteil, wenn die Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ), aus denen das Kombinationsbild des Schrittes e) seine Bildinformationen bezieht, Ansichten („primäre Bilder“) einer räumlichen Testszene sind. Als Ansicht wird in diesem Zusammenhang wie auch im folgenden eine Ansicht bezeichnet, die einer zweidimensionalen Abbildung bzw. Aufnahme einer Szene oder eines Gegenstandes, beispielsweise der Testszene, von einer bestimmten Aufnahmeposition aus entspricht.



So kann eine Ansicht  $A_k$  beispielsweise einer –einzig- Perspektivansicht oder einer Parallelprojektion der Testszene entsprechen. (Im Unterschied dazu enthält ein Kombinationsbild Bildinformationen gleichzeitig mehrerer, d.h. mindestens zweier, Ansichten.)

Besagte Testszene beinhaltet bevorzugt zwei bis fünf, besonders bevorzugt drei verschiedene graphische Objekte. Im Falle der Beinhaltung dreier graphischer Objekte in der Testszene sind die Objekte innerhalb der räumlichen Testszene in jeweils verschiedenen Tiefenpositionen  $z$  angeordnet, wobei beim Vergleich verschiedener Ansichten  $A_k$  bevorzugt genau eines der Objekte keine Verschiebung, genau eines eine positive und genau eines eine negative horizontale Verschiebung aufweist. Bei der Darstellung auf einem autostereoskopischen Display würde somit eines der Objekte dem Betrachter vor der Bildgeberfläche, eines etwa darauf und eines dahinter erscheinen. Eine solche Szene ist schemenhaft im oberen Abschnitt der Fig.4 skizziert. Dabei würde die Kugel an einer hinteren Tiefenposition, der strukturierte Quader an der mittleren Tiefenposition (korrespondierend zur Bildgeboberfläche eines autostereoskopischen Bildgebers) und der nur mit Strichen dargestellte Quader in einer vorderen Tiefenposition angeordnet sein. Der untere Abschnitt der Fig.4 zeigt schemenhaft acht von dieser Testszene beispielsweise mit einer virtuellen Kamera aufgenommene Ansichten  $A_k$  („primäre Bilder“), wobei die virtuelle Kamera als ein mit Software gesteuerter PC ausgebildet sein kann. Selbstverständlich kann es sich hierbei ebenso um farbige Ansichten  $A_k$  handeln. Das im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzte Kombinationsbild ist nach einer jeweils vorgegebenen Bildkombinationsstruktur (z.B. nach der aus Fig.7) aus diesen Ansichten  $A_k$  ( $k=1..8$ ) zusammengesetzt.

Vorteilhaft werden die Ansichten  $A_k$  der Testszene von virtuellen oder realen Kameras aufgenommen, wobei die Achsen der virtuellen oder realen Kameras parallel oder konvergierend ausgerichtet sind und  $A_k$  wobei bevorzugt die entsprechenden Kamerapositionen jeweils zweier benachbarter Ansichten  $A_k$  stets in etwa den gleichen Abstand aufweisen. Dieses Merkmal ist leicht auszubilden: Virtuelle Kameras, die etwa von einem mit Software gesteuerten PC gebildet werden können, werden gleichabständig auf einem Kreisbogen angeordnet, so daß sie auf einen bestimmten Punkt, den Fixpunkt, konvergieren. Dieser Sachverhalt ist als Prinzipskizze in Fig.5 dargestellt. Der Fixpunkt liegt hier auf der Oberfläche des mittleren, strukturierten Quaders.



Es ist demgegenüber jedoch auch möglich, daß die Ansichten  $A_k$  für  $k > 1$  ausgehend von der Ansicht  $A_1$  erzeugt werden, indem die Ansicht  $A_1$  vermöge einer Parallelprojektion der Testszene gebildet wird und indem die in der Ansicht  $A_1$  abgebildeten graphischen Objekte der Testszene zur Erstellung der Ansichten  $A_k$  bei  $k > 1$  jeweils einzeln horizontal verschoben werden, wobei das Maß der jeweiligen Verschiebung proportional zur Tiefenposition des jeweiligen Objektes in der räumlichen Testszene ist und wobei das Maß der Verschiebung für unterschiedliche Ansichten, d.h. unterschiedliche Werte  $k$ , bevorzugt unterschiedlich gewählt ist. Mit der letztgenannten Variation der Maßes der Verschiebung für disjunkte Werte  $k$  ist insbesondere gemeint, daß die Verschiebung eines Objektes einer beliebigen, aber festen Tiefenposition in der Regel umso größer ist, je höher (oder niedriger) der Wert  $k$  ist.

Diese Vorgehensweise ist schematisch in Fig.6 gezeigt. Die Abbildung links oben in Fig.6 entspricht in etwa einer deutlich vereinfachten Parallelprojektion der Testszene. Schattierungen und Schraffuren wurden in Fig.6 weggelassen, da sie zum Verständnis des in Rede stehenden Vorgehens nicht notwendig sind. Besagte linke obere Abbildung entspräche nun zunächst der parallelprojizierten Ansicht  $A_1$ . Ausgehend von dieser Ansicht  $A_1$  werden die enthaltenen graphischen Objekte wie obenstehend beschrieben horizontal verschoben. Diese Vorgehensweise ist in Fig.6 im Abschnitt rechts unten illustriert: Die gestrichelten Linien verdeutlichen die Außenkanten der Objekte in der derartig erzeugten Ansicht  $A_2$ . Sollte die –hier nicht dargestellte– Ansicht  $A_3$  ebenfalls erzeugt werden, so würde wie vorstehend beschrieben das Maß der Verschiebung verstärkt und das linke bzw. rechte Objekt würden zur Synthese dieser Ansicht  $A_3$  noch weiter verschoben werden, als für die Ansicht  $A_2$ .

Der mittlere Quader wird wegen seiner mittigen Tiefenposition, die der Bildgeberoberfläche eines autostereoskopischen Bildgebers entspricht, nicht verschoben.

Wie eingangs schon erwähnt ist der erfindungsgemäße Schritt b) vorteilhaft derartig auszugestalten, daß die Filterarraygeometrie eines Filterarrays (2) in Form eines Maskenbildes vorgegeben wird. Dabei werden Wellenlängenfilter und/oder Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  (d.h. die Filterelemente (3) des Filterarrays(2) ) in einem Array aus Zeilen  $q$  und Spalten  $p$  in Abhängigkeit von ihrer Transparenzwellenlänge/ihrem Transparenzwellen-längenbereich/ ihrem Transmissionsgrad  $\lambda_b$  nach folgender Funktion zu einem solchen Maskenbild kombiniert



$$b = p - d_{pq} \cdot q - n_m \cdot \text{IntegerPart} \left[ \frac{p - d_{pq} \cdot q - 1}{n_m} \right], \text{ mit}$$

- p dem Index eines Wellenlängen- bzw. Graustufenfilters  $\beta_{pq}$  bzw. (3) in einer Zeile des Arrays,
- q dem Index eines Wellenlängen- bzw. Graustufenfilters  $\beta_{pq}$  bzw. (3) in einer Spalte des Arrays,
- b einer ganzen Zahl, die für ein Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  bzw. (3) an der Position p,q eine der vorgesehenen Transparenzwellenlängen/-wellenlängenbereiche bzw. einen Transmissionsgrad  $\lambda_b$  festlegt und Werte zwischen 1 und  $b_{\max}$  haben kann,
- $n_m$  einem ganzzahligen Wert größer „Null“,
- $d_{pq}$  einer wählbaren Maskenkoeffizientenmatrix zur Variation der Erzeugung eines Maskenbildes und
- *IntegerPart* einer Funktion zur Erzeugung der größten ganzen Zahl, die das in eckige Klammern gesetzte Argument nicht übersteigt; und

wobei jedes Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  bzw. (3) einen durch eine geschlossene Kurve beschreibbaren, bevorzugt einen vieleckigen, besonders bevorzugt rechteckigen Umriß aufweist, der eine Filterfläche von wenigen 10.000  $\mu\text{m}^2$  bis einigen  $\text{mm}^2$  beinhaltet.

Beispielshalber wird jedes Wellenlängen- bzw. Graustufenfilterelement  $\beta_{pq}$  bzw. (3) etwa ein Drittel so breit wie ein Bildelement des Bildgebers (1), das heißt zum Beispiel 33,26  $\mu\text{m}$  breit und 299,3  $\mu\text{m}$  hoch ausgebildet. Ein beispielhaftes Maskenbild läßt sich mit den folgenden Parametern erzeugen:  $\lambda_1.. \lambda_3$  sind für das sichtbare Licht vollkommen transparente Transparenzwellenlängenbereiche,  $\lambda_4.. \lambda_{24}$  sind für das sichtbare Licht vollkommen opake Transparenzwellenlängenbereiche,  $n_m=24$  und

$$d_{pq} = \frac{p - [((p + 2 \cdot q - 1) \bmod 24) + 1]}{q}$$

Demnach sind drei horizontal benachbarte Filterelemente (3) zusammen etwa so groß wie ein Bildelement.

Ein derartig definiertes Filterarray (2) ist –nicht maßstäblich- in Fig.8 dargestellt. Es kann vorteilhaft mit der in Fig.7 gezeigten Bildkombinationsstruktur zur Erzielung eines räumlichen Eindrucks eingesetzt werden.



Zur Beschreibung der Bildkombinationsvorschrift bzw. der Struktur des Kombinationsbildes wird das in Schritt e) vorzugebende Kombinationsbild nach folgender Vorschrift erstellt:

- Einteilen der Ansichten  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) in ein jeweils gleichartiges Raster mit Zeilen  $j$  und Spalten  $i$ ,
- Kombinieren der  $n$  Ansichten  $A_k$  in Zeilen und Spalten miteinander, um ein einziges Kombinationsbild mit Bildelementen  $\alpha_{ij}$  zu erzeugen, wobei die Zuordnung von Teilinformationen aus den Ansichten  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) zu Bildelementen  $\alpha_{ij}$  der Positionen  $i,j$  nach der Funktion festgelegt ist

$$k = i - c_{ij} \cdot j - n \cdot \text{IntegerPart} \left[ \frac{i - c_{ij} \cdot j - 1}{n} \right], \text{ mit}$$

- $i$  dem Index eines Bildelementes  $\alpha_{ij}$  in einer Zeile des Rasters,
- $j$  dem Index eines Bildelementes  $\alpha_{ij}$  in einer Spalte des Rasters,
- $k$  der fortlaufenden Nummer des Bildes  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ), aus dem die Teilinformation stammt, die auf einem bestimmten Bildelement  $\alpha_{ij}$  wiedergegeben werden soll,
- $c_{ij}$  einer wählbaren Koeffizientenmatrix zur Kombination bzw. Mischung der verschiedenen von den Bildern  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) stammenden Teilinformationen auf dem Raster und
- *IntegerPart* einer Funktion zur Erzeugung der größten ganzen Zahl, die das in eckige Klammern gesetzte Argument nicht übersteigt.

Insofern das Raster  $(i,j)$  dem Raster der Farbsubpixel R,G,B eines LCD-Bildschirms entspricht und insofern als Koeffizientenmatrix  $c_{ij} = \frac{i - [(IntegerPart(i + j \cdot \frac{2}{3}) \bmod 8) + 1]}{j}$  bei

$n=8$  gewählt wird, ergibt sich die schon mehrfach zitierte Bildkombinationsstruktur, die ausschnittsweise in Fig.7 gezeigt ist.

Die im erfindungsgemäßen Schritt f) genannte Ermittlung jedes der sekundären Bilder kann außerdem wie folgt durchgeführt werden:

- Flächiges Abrastern des der jeweiligen monokularen Betrachtungsposition gemäß der vorgegebenen Anordnungsgeometrie nächstliegenden flächigen Bauteiles, d.h. entweder eines Filterarrays (2) oder des Bildgebers (1), und mit dem flächigen Abrastern einhergehende Erstellung eines hinreichend aufgelösten sekundären Bildes, welches ein im wesentlichen



korrektes Abbild der entsprechenden sichtbaren Flächenanteile der Bildelemente des Kombinationsbildes bzw. der durch die Bildelemente des Kombinationsbildes beleuchteten Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter (3) ist, wobei die vorgegebene Filterarraygeometrie – insbesondere wellenlängenabhängige bzw. wellenlängenunabhängige Transmissionsgrade der Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter (3) –, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie berücksichtigt werden.

Auch hier geschieht die Erstellung des jeweiligen sekundären Bildes wieder insbesondere unter Berücksichtigung der dem jeweiligen Bildelement zugeordneten Wellenlänge/des zugeordneten Wellenlängenbereiches und unter Berücksichtigung aller zwischen dem Betrachterauge an der entsprechenden Position liegenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter bzw. unter Berücksichtigung aller dem jeweiligen Bildelement aus der entsprechenden Betrachtungsrichtung nachfolgenden Wellenlängen- oder Graustufenfilter (3).

Besagtes flächige Abrastern geschieht vorzugsweise nach Zeilen und Spalten, wobei hier je nach erforderlicher Güte der Simulationsergebnisse jeweils mehrere tausend Zeilen und Spalten angesetzt werden sollten.

Die Erzeugung des im wesentlichen korrekten Abbildes der entsprechenden sichtbaren Flächenanteile der Bildelemente des Kombinationsbildes bzw. der durch die Bildelemente des Kombinationsbildes beleuchteten Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter (3) kann beispielsweise unter Anwendung von bekannten Raytracing-Algorithmen stattfinden. Dabei sind auch die vorgegebene Filterarraygeometrie – insbesondere wellenlängenabhängige bzw. wellenlängenunabhängige Transmissionsgrade der Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter-, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie einbeziehbar.

Unter Zugrundelegung einer Anordnungsgeometrie nach Fig.1, einer Kombinationsbildstruktur nach Fig.7 und einem Filterarray (2) nach Fig.8 würden dann beispielsweise bei besagtem Abrastern -hier des Filterarrays (2)- aus den beiden monokularen Betrachtungspositionen (5) Bildelemente jeweils komplett, teilweise oder nicht sichtbar sein und entsprechend in den sekundären Bildern Eingang finden.

Beispielhafte Ergebnisse des nach der vorstehenden Vorschrift ausgeführten Schrittes f) sind in den Fig.9 und 10 dargestellt, wobei hier allerdings die sekundären, hochaufgelösten Bilder in einer besonderen Form dargestellt sind: Während die tatsächliche Ausführung des Schrittes f) nach der vorstehend beschriebenen Art und Weise tatsächlich ein bzw. zwei sekundäre Bilder mit bestimmten (modifizierten) Bildinformationen zur Folge hat, zeigen die Fig.9 und 10 gewissermaßen die jeweils aus den vorgegebenen monokularen Betrachtungspositionen (5)



sichtbaren Flächenanteile einzelner Bildelemente, wobei die Bildelemente hier hinsichtlich ihrer die Bildteilinformation liefernden Ansicht  $A_k$  gekennzeichnet sind. So wären beispielsweise aus der der Fig.9 zu Grunde liegenden monokularen Betrachtungsposition (5) nur Bildelemente sichtbar, die ihre Bildteilinformation aus den Ansichten  $A_k$  mit  $k=1$  und  $k=2$  beziehen. Gemäß Fig.10 lägen entsprechend Bildteilinformation aus den Ansichten  $A_k$  mit  $k=4$  und  $k=5$  zu Grunde.

Es ist an diesen Zeichnungen im übrigen recht gut die in der DE 10003326 C2 beschriebene Funktionsweise der Erzeugung des räumlichen Eindruckes zu erkennen: Jedes Auge sieht überwiegend eine Auswahl aus bestimmten Ansichten.

Eine weitere detaillierte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß in Schritt g) eine getrennte Ausgabe der sekundären Bilder für das linke und rechte Auge erfolgt, wobei die sekundären Bilder örtlich nebeneinander, örtlich ineinander verschachtelt oder zeitlich nacheinander vermöge eines Bildgebers, beispielsweise einer Kathodenstrahlröhre, eines LC-Displays, eines DMD-Projektors oder eines Plasma-Displays, dargestellt werden. Dabei findet die Ausgabe der sekundären Bilder besonders bevorzugt vermöge eines solchen Bildgebers statt, der die in Schritt a) vorgegebene Bildgebergeometrie, insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe, aufweist.

Schlußendlich zeigt die Fig.13 ein Beispiel für eine erste und eine zweite Ansicht (in Ausschnittdarstellung) einer Testszene (im oberen Bildabschnitt) sowie ein Beispiel für ein mögliches Simulationsergebnis auf der Basis dieser Ansichten in schematischer, stark vergrößerter Darstellung (im unteren Bildabschnitt).

Eine hier des Umfangs wegen nicht näher beschriebene Testszene möge die in Fig.13 oben gezeigten zwei (aus beispielsweise acht erzeugbaren) Ansichten  $A_k$  ergeben, wobei die Zeichnungen als Ausschnitte der jeweiligen Ansichten anzusehen sind. Vorausgesetzt, es wird nun eine entsprechende Filterarraygeometrie, welche hier nicht weiter im Detail dargestellt ist, vorgegeben und angenommen, daß erfindungsgemäße Verfahren werde unter Vorgabe geeigneter monokularer Betrachtungspositionen und mit der Ausgestaltung des Schrittes f) in Form der oben beschriebenen Abrasterung durchgeführt, so könnte das in der Fig.13 unten gezeigte Simulationsergebnis als Resultat stehen. Es handelt sich hier um eine schematische Darstellung des an sich möglichst hochaufgelöst zu erzeugenden sekundären Bildpaares.



Die Erfindung kann mit besonders geringem materiellen Aufwand vorteilhaft zur Optimierung von 3D-Anordnungen auf der Basis von Filterarrays eingesetzt werden. Gewerblich anwendbar ist sie insbesondere im Rahmen von Entwicklungsdienstleistungen auf dem Gebiet der 3D-Darstellung.

Die günstige Kosten-Nutzen-Relation rührt insbesondere daher, daß versuchsweise zu erstellende Filterarrays zur Erstbewertung nicht körperlich hergestellt werden müssen, sondern vorab mit hoher Präzision bewertet werden können. Es handelt sich ferner um ein besonders schnelles und rationelles Verfahren zur Bewertung und Optimierung der 3D-Bildqualität durch die in der Regel rechnergestützte Simulation.

Weitere Vorteile sind der Ausschluß von Fehlereinflüssen durch unvollkommene Filtergeometrien bzw. -funktionen körperlich hergestellter Filterarrays, die Nachvollziehbarkeit der Wirkungsweise simulierter Anordnungen im Detail sowie die direkte Vergleichbarkeit zwischen herkömmlichen primären Bildern (d.h. den Ansichten  $A_k$ ) und sekundären Bildern. Die physiologischen Faktoren des binokularen Raumsehens bleiben wirksam.



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Simulation von räumlichen Seheindrücken, umfassend die folgenden Schritte:

- a) Vorgabe der Bildgebergeometrie eines Bildgebers, insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe,
- b) Vorgabe der Filterarraygeometrie eines Filterarrays, insbesondere hinsichtlich Filterelementstruktur und -größe,
- c) Vorgabe einer räumlichen Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber und das Filterarray in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- d) Vorgabe einer ersten und einer zweiten monokularen Betrachtungsposition vor besagter Anordnungsgeometrie in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- e) Vorgabe eines Kombinationsbildes, welches für die Darstellung auf der vorgegebenen Bildgebergeometrie geeignet ist und welches in definierter Zuordnung zu den Bildelementen Bildinformationen aus verschiedenen gegebenen primären Bildern, welche verschiedenen Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) einer virtuellen oder realen Szene bzw. eines virtuellen oder realen Gegenstandes identisch sind, enthält,
- f) Ermittlung eines ersten und eines zweiten sekundären Bildes, welches die auf Grund der vorgegebenen Filterarraygeometrie in Verbindung mit der vorgegebenen Bildgebergeometrie und der räumlichen Anordnungsgeometrie für ein Betrachterauge an der jeweils vorgegebenen ersten und zweiten monokularen Betrachtungsposition sichtbaren Bildelemente des vorgegebenen Kombinationsbildes enthält, wobei ein Bildelement eines sekundären Bildes explizit auch lediglich einen Teil eines Bildelementes des vorgegebenen Kombinationsbildes repräsentieren kann, sowie
- g) stereoskopische Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes oder Teile dieser sekundären Bilder als jeweils linkes bzw. rechtes stereoskopisches Bild.

2. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansichten  $A_k$ , aus denen das Kombinationsbild seine Bildinformationen bezieht, Ansichten einer räumlichen Testszene sind, wobei die Testszene bevorzugt zwei bis fünf, besonders bevorzugt drei verschiedene graphische Objekte beinhaltet.



3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei mindestens drei graphische Objekte in der Testszene enthalten sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Objekte innerhalb der räumlichen Testszene in jeweils verschiedenen Tiefenpositionen  $z$  angeordnet sind, wobei beim Vergleich verschiedener Ansichten  $A_k$  bevorzugt genau eines der Objekte keine horizontale Verschiebung, genau eines eine positive und genau eines eine negative horizontale Verschiebung aufweist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die abgebildeten Objekte in den Ansichten  $A_k$  eine Breite von mindestens einer vollen Pixelspalte und eine Höhe von bevorzugt mindestens 24 Pixelzeilen aufweisen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Objekte der Testszene homogen schwarz gefärbt, homogen grau gefärbt oder strukturiert sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Objekte der Testszene vor einem weißen oder strukturierten Hintergrund angeordnet sind.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansichten  $A_k$  der Testszene von virtuellen oder realen Kameras aufgenommen werden, wobei die Achsen der virtuellen oder realen Kameras parallel oder konvergierend ausgerichtet sind und wobei bevorzugt die entsprechenden Kamerapositionen jeweils zweier benachbarter Ansichten stets in etwa den gleichen Abstand aufweisen.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansichten  $A_k$  für  $k > 1$  ausgehend von der Ansicht  $A_1$  erzeugt werden, indem die Ansicht  $A_1$  vermöge einer Parallelprojektion der Testszene gebildet wird und indem die in der Ansicht  $A_1$  abgebildeten graphischen Objekte der Testszene zur Erstellung der Ansichten  $A_k$  mit  $k > 1$  jeweils einzeln horizontal verschoben werden, wobei das Maß der jeweiligen Verschiebung proportional zur Tiefenposition des jeweiligen Objektes in der räumlichen Testszene ist und wobei das Maß der Verschiebung für unterschiedliche Ansichten, d.h. unterschiedliche Werte  $k$ , bevorzugt unterschiedlich gewählt ist.
9. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in Schritt a) vorgegebene Bildgebergeometrie ein orthogonales Array von Bildelementen in



Zeilen  $j$  und Spalten  $i$  ist, wobei die Bildelemente Licht einer bestimmten Wellenlänge oder eines bestimmten Wellenlängenbereiches abstrahlen bzw. transmittieren und wobei jedes Bildelement einen durch eine geschlossene Kurve beschreibbaren, bevorzugt einen vieleckigen, besonders bevorzugt rechteckigen Umriß aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildgebergeometrie ein orthogonales Array von Bildelementen in 768 Zeilen und 3072 Spalten ist, wobei die erste Spalte im wesentlichen rotes Licht emittiert oder transmittiert, die zweite Spalte im wesentlichen grünes Licht emittiert oder transmittiert, die dritte Spalte im wesentlichen blaues Licht emittiert oder transmittiert, die vierte Spalte wiederum im wesentlichen rotes Licht emittiert oder transmittiert, usw., und wobei jedes Bildelement einen im wesentlichen rechteckigen Umriß mit etwa 300  $\mu\text{m}$  Höhe und 100  $\mu\text{m}$  Breite aufweist.

11. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in Schritt b) die Filterarraygeometrie eines Filterarrays in Form eines Maskenbildes vorgegeben wird, wobei Wellenlängenfilter und/oder Graustufenfilter  $\beta_{pq}$ , d.h. die Filterelemente des Filterarrays, in einem Array aus Zeilen  $q$  und Spalten  $p$  in Abhängigkeit von ihrer Transparenzwellenlänge/ihrem Transparenzwellenlängenbereich/ihrem Transmissionsgrad  $\lambda_b$  nach folgender Funktion zu einem solchen Maskenbild kombiniert werden

$$b = p - d_{pq} \cdot q - n_m \cdot \text{IntegerPart} \left[ \frac{p - d_{pq} \cdot q - 1}{n_m} \right], \text{ mit}$$

- $p$  dem Index eines Wellenlängen- bzw. Graustufenfilters  $\beta_{pq}$  in einer Zeile des Arrays,
- $q$  dem Index eines Wellenlängen- bzw. Graustufenfilters  $\beta_{pq}$  in einer Spalte des Arrays,
- $b$  einer ganzen Zahl, die für ein Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  an der Position  $p, q$  eine der vorgesehenen Transparenzwellenlängen/-wellenlängenbereiche bzw. einen Transmissionsgrad  $\lambda_b$  festlegt und Werte zwischen 1 und  $b_{\max}$  haben kann,
- $n_m$  einem ganzzahligen Wert größer „Null“,
- $d_{pq}$  einer wählbaren Maskenkoeffizientenmatrix zur Variation der Erzeugung eines Maskenbildes und



- *IntegerPart* einer Funktion zur Erzeugung der größten ganzen Zahl, die das in eckige Klammern gesetzte Argument nicht übersteigt; und

wobei jedes Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter  $\beta_{pq}$  einen durch eine geschlossene Kurve beschreibbaren, bevorzugt einen vieleckigen, besonders bevorzugt rechteckigen Umriß aufweist, der eine Filterfläche von wenigen  $10.000 \mu\text{m}^2$  bis einigen  $\text{mm}^2$  beinhaltet.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Wellenlängen- bzw. Graustufenfilterelement etwa ein Drittel so breit ist wie ein Bildelement und daß das Maskenbild den Parametern  $n_m=24$  und  $d_{pq}=-1=\text{const}$  genügt, wobei  $\lambda_1.. \lambda_3$  für das sichtbare Licht vollkommen transparente Transparenzwellenlängenbereiche und  $\lambda_4.. \lambda_{24}$  für das sichtbare Licht vollkommen opake Transparenzwellenlängenbereiche sind.

13. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in Schritt c) vorgegebene räumliche Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber und das Filterarray in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z) jeweils eine Ebene für den Bildgeber und das Filterarray sowie jeweils die räumliche Position des linken oberen und des rechten unteren Eckpunktes des Filterarrays bzw. des Bildgebers beschreibt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß besagtes Koordinatensystem als Maßeinheit Millimeter aufweist, die Bildgeberebene dem Parameter  $z=0 \text{ mm}$  und die Filterarrayebene der Bedingung  $z \in [-20...20 \text{ mm}]$  genügt, daß die Position des jeweils linken oberen Eckpunktes des Filterarrays bzw. des Bildgebers den Parametern  $x=y=0 \text{ mm}$  genügt, und daß die Position des jeweils rechten unteren Eckpunktes des Filterarrays bzw. des Bildgebers den Parametern  $x=307,2 \text{ mm}$   $y=230,4 \text{ mm}$  genügt.

15. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das in Schritt e) vorzugebende Kombinationsbild nach folgender Vorschrift erstellt wird:

- Einteilen der Ansichten  $A_k$  ( $k=1...n$ ) in ein jeweils gleichartiges Raster mit Zeilen  $j$  und Spalten  $i$ ,
- Kombinieren der  $n$  Ansichten  $A_k$  in Zeilen und Spalten miteinander, um ein einziges Kombinationsbild mit Bildelementen  $\alpha_{ij}$  zu erzeugen, wobei die Zuordnung von Teilinformationen aus den Ansichten  $A_k$  ( $k=1...n$ ) zu Bildelementen  $\alpha_{ij}$  der Positionen  $i,j$  nach der Funktion festgelegt ist



$$k = i - c_{ij} \cdot j - n \cdot \text{IntegerPart} \left[ \frac{i - c_{ij} \cdot j - 1}{n} \right], \text{ mit}$$

- i dem Index eines Bildelementes  $\alpha_{ij}$  in einer Zeile des Rasters,
- j dem Index eines Bildelementes  $\alpha_{ij}$  in einer Spalte des Rasters,
- k der fortlaufenden Nummer des Bildes  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ), aus dem die Teilinformation stammt, die auf einem bestimmten Bildelement  $\alpha_{ij}$  wiedergegeben werden soll,
- $c_{ij}$  einer wählbaren Koeffizientenmatrix zur Kombination bzw. Mischung der verschiedenen von den Bildern  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) stammenden Teilinformationen auf dem Raster und
- *IntegerPart* einer Funktion zur Erzeugung der größten ganzen Zahl, die das in eckige Klammern gesetzte Argument nicht übersteigt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das in Schritt e) vorzugebende Kombinationsbild nach folgender Vorschrift erstellt wird:

- Einteilen der Ansichten  $A_k$  ( $k=1\dots n$ ) in ein jeweils gleichartiges Raster mit Zeilen  $j'$  und Spalten  $i'$ , wodurch ein Tensor  $A_{k'j'}$  dritter Stufe entsteht, welcher die Bildinformationen der Ansichten  $k$  ( $k=1\dots n$ ) in dem jeweils gleichartigen Raster ( $i', j'$ ) enthält,
- Kombinieren der Bildinformationen  $A_{k'j'}$  miteinander, um ein einziges Kombinationsbild mit Bildelementen  $\alpha_{ij}$  in einem Raster ( $i, j$ ) zu erzeugen, wobei die Zuordnung von Teilinformationen aus den Tensorelementen  $A_{k'j'}$  ( $k=1\dots n$ ) zu Bildelementen  $\alpha_{ij}$  an den Positionen  $i, j$  des Rasters ( $i, j$ ) nach der Funktion festgelegt ist

$$\alpha_{ij} = \sum_k \sum_{i'} \sum_{j'} A_{k'j'} \cdot g_{k'j'ij}, \text{ wobei}$$

- (g) ein Tensor fünfter Stufe ist, dessen Elemente  $g_{k'j'ij}$  reelle Zahlen sind und die Wirkung von Wichtungsfaktoren, die das Gewicht der betreffenden Teilinformation ( $A_{k'j'}$ ) in einem Bildelement  $\alpha_{ij}$  bestimmen, haben, und

- wobei die Raster ( $i, j$ ) und ( $i', j'$ ) bevorzugt gleich viele Spalten und gleich viele Zeilen aufweisen.

17. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in Schritt f) genannte Ermittlung jedes der sekundären Bilder wie folgt durchgeführt wird:

- Kopieren des Kombinationsbildes (mit den Bildelementen  $\alpha_{ij}$ ) in das entsprechende zu erstellende sekundäre Bild,



- Ermittlung für jedes einzelne kopierte Bildelement im sekundären Bild, welcher Flächenanteil desselben für ein Betrachterauge an der entsprechenden Betrachtungsposition sichtbar ist, wobei die vorgegebene Filterarraygeometrie, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie berücksichtigt werden, sowie
- Modifikation (a) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild durch Multiplikation seines ursprünglichen Einstellwertes mit dem Flächenquotienten „ermittelter sichtbarer Flächenanteil jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild dividiert durch volle Fläche des entsprechenden Bildelementes“ und/oder Modifikation (b) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild durch Multiplikation seines ursprünglichen bzw. bereits modifizierten Einstellwertes mit einem Korrekturfaktor  $f_k$ , für den bevorzugt  $0 \leq f_k \leq 1$  gilt, und der ein Maß für den wellenlängenabhängigen bzw. wellenlängenunabhängigen Transmissionsgrad aller zwischen dem Betrachterauge an der entsprechenden Position und dem jeweiligen Bildelement liegenden Wellenlängen- und/oder Graustufenfilter bzw. der ein Maß für den wellenlängenabhängigen bzw. wellenlängenunabhängigen Transmissionsgrad aller dem jeweiligen Bildelement aus der entsprechenden Betrachtungsrichtung nachfolgenden Wellenlängen- und/oder Graustufenfilter ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß bei den für Schritt f) näher beschriebenen Modifikationen (a) bzw. (b) des Einstellwertes jedes einzelnen kopierten Bildelementes im sekundären Bild eine für einen vorzugebenden Bildgeber vorzugebende Funktion, die den funktionalen Zusammenhang zwischen der meßbaren Leuchtdichte eines Bildelementes und dessen Einstellwert beschreibt, berücksichtigt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die in Schritt f) genannte Ermittlung jedes der sekundären Bilder wie folgt durchgeführt wird:

- Flächiges Abrastern des der jeweiligen monokularen Betrachtungsposition gemäß der vorgegebenen Anordnungsgeometrie nächstliegenden flächigen Bauteiles, d.h. entweder eines Filterarrays oder des Bildgebers, und mit dem flächigen Abrastern einhergehende Erstellung eines hinreichend aufgelösten sekundären Bildes, welches ein im wesentlichen korrektes Abbild der entsprechenden sichtbaren Flächenanteile der Bildelemente des Kombinationsbildes bzw. der durch die Bildelemente des Kombinationsbildes beleuchteten Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter ist, wobei die vorgegebene Filterarraygeometrie – insbesondere wellenlängenabhängige bzw. wellenlängenunabhängige Transmissionsgrade der



Wellenlängen- bzw. Graustufenfilter-, die vorgegebene Bildgebergeometrie und die räumliche Anordnungsgeometrie berücksichtigt werden.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß bei der für Schritt f) näher beschriebenen Ermittlung des sekundären Bildes eine für einen vorzugebenden Bildgeber vorzugebende Funktion, die den funktionalen Zusammenhang zwischen der meßbaren Leuchtdichte eines Bildelementes und dessen Einstellwert beschreibt, berücksichtigt wird.

21. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in Schritt g) eine getrennte Ausgabe der sekundären Bilder für das linke und rechte Auge erfolgt, wobei die sekundären Bilder örtlich nebeneinander, örtlich ineinander verschachtelt oder zeitlich nacheinander vermöge eines Bildgebers, beispielsweise einer Kathodenstrahlröhre, eines LC-Displays, eines DMD-Projektors oder eines Plasma-Displays, dargestellt werden und wobei die Ausgabe der sekundären Bilder besonders bevorzugt vermöge eines solchen Bildgebers stattfindet, der die in Schritt a) vorgegebene Bildgebergeometrie, insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe, aufweist.

22. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß in Schritt g) bei einem Betrachter vermöge eines stereoskopischen Visualisierungsverfahrens eine visuelle Fusion des sekundären Bildpaares oder eine visuelle Fusion vergrößerter Ausschnitte des sekundären Bildpaares zu einem virtuellen 3D-Eindruck herbeigeführt wird.

23. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, nach oder parallel zu der Ausführung des Verfahrensschrittes g) erweitert um einen Verfahrensschritt h), der folgendes beinhaltet:

- räumlich versetzter und/oder zeitlich versetzter Vergleich des stereoskopisch sichtbar gemachten ersten und zweiten sekundären Bildes mit einem stereoskopisch sichtbar gemachten Bildpaar aus den Ansichten  $A_k$ , wobei bevorzugt für die stereoskopische Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes als auch für die stereoskopische Sichtbarmachung des Bildpaares aus den Ansichten  $A_k$  jeweils ein Bildgeber mit in etwa gleichen Parametern verwendet wird und wobei optional jeweils nur Ausschnittvergrößerungen besagter Bilder stereoskopisch sichtbar gemacht werden.



24. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, nach oder parallel zu der Ausführung des Verfahrensschrittes g) oder h) erweitert um einen Verfahrensschritt i), der folgendes beinhaltet:

- Variation der ersten und/oder der zweiten Betrachtungsposition in mindestens einer ihrer Koordinaten im Koordinatensystem (X,Y,Z) sowie erneute Durchführung der Schritte e) bis g) bzw. e) bis h), sowie optional beliebig häufige Wiederholung des vorstehend beschriebenen Schrittes i).

25. Anordnung zur Umsetzung des Simulationsverfahrens von räumlichen Seheindrücken nach Anspruch 1, umfassend:

- a) Mittel zur digitalen Vorgabe der Bildgebergeometrie eines Bildgebers, insbesondere hinsichtlich Bildelementstruktur und -größe,
- b) Mittel zur digitalen Vorgabe der Filterarraygeometrie eines Filterarrays, insbesondere hinsichtlich Filterelementstruktur und -größe,
- c) Mittel zur digitalen Vorgabe einer räumlichen Anordnungsgeometrie im Bezug auf den Bildgeber und das Filterarray in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- d) Mittel zur digitalen Vorgabe einer ersten und einer zweiten monokularen Betrachtungsposition vor besagter Anordnungsgeometrie in besagtem dreidimensionalen Koordinatensystem (X,Y,Z),
- e) Mittel zur Vorgabe eines Kombinationsbildes, welches für die Darstellung auf der vorgegebenen Bildgebergeometrie geeignet ist und welches in definierter Zuordnung zu den Bildelementen Bildinformationen aus verschiedenen gegebenen primären Bildern, welche verschiedenen Ansichten  $A_k$  ( $k=1..n$ ) einer virtuellen oder realen Szene bzw. eines virtuellen oder realen Gegenstandes identisch sind, enthält,
- f) Mittel zur Ermittlung eines ersten und eines zweiten sekundären Bildes, welches die auf Grund der vorgegebenen Filterarraygeometrie in Verbindung mit der vorgegebenen Bildgebergeometrie und der räumlichen Anordnungsgeometrie für ein Betrachterauge an der jeweils vorgegebenen ersten und zweiten monokularen Betrachtungsposition sichtbaren Bildelemente des vorgegebenen Kombinationsbildes enthält, wobei ein Bildelement eines sekundären Bildes explizit auch lediglich einen Teil eines Bildelementes des vorgegebenen Kombinationsbildes repräsentieren kann, sowie
- g) Mittel zur stereoskopischen Sichtbarmachung des ersten und zweiten sekundären Bildes oder Teile dieser sekundären Bilder als jeweils linkes bzw. rechtes stereoskopisches Bild.



26. Anordnung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel a) bis f) in einer Baueinheit als ein mit Software gesteuerter PC ausgebildet sind und daß die Mittel g) ein Stereoskop oder eine Shutterbrille und einen Monitor umfassen.







B'B	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	B'
G'S	S	S	S	S	S	S	R'R	S	S	S	S	B'B	S	S	S	S	S	S	G'G'
S	S	S	S	S	S	S	B'B	S	S	S	G'G'	S	S	S	S	S	R'R	R'R	R'
S	S	S	S	S	S	S	G'G'	S	S	S	R'R	S	S	S	S	S	B'B	B'S	S
S	S	S	R'R	R'R	R'R	S	S	S	S	S	B'B	S	S	S	S	S	G'G'	S	S
S	S	B'B	B'B	S	S	S	G'G'	S	S	S	S	S	S	S	S	R'R	R'R	S	S
S	G'G'	G'G'	S	S	S	S	R'R	R'R	S	S	S	S	S	S	S	B'B	B'S	S	S
R'R	R'R	S	S	S	S	S	B'B	B'B	S	S	S	G'G'	G'G'	S	S	S	S	S	S
B'B	S	S	S	S	S	S	G'G'	S	S	S	R'R	R'R	S	S	S	S	S	S	B'
G'	S	S	S	S	S	S	R'R	R'R	S	S	S	B'B	S	S	S	S	S	R'R	R'R
S	S	S	S	S	S	S	B'B	B'B	S	S	S	G'G'	G'G'	S	S	S	S	R'R	R'R
S	S	S	R'R	R'R	R'R	S	S	S	S	S	R'R	R'R	S	S	S	S	G'G'	G'G'	S
S	B'B	B'B	S	S	S	S	G'G'	S	S	S	S	S	S	S	S	R'R	R'R	B'S	S
S	G'G'	G'G'	S	S	S	S	R'R	R'R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
R'R	R'R	S	S	S	S	S	B'B	B'B	S	S	S	G'G'	G'G'	S	S	S	S	S	S

Fig.2



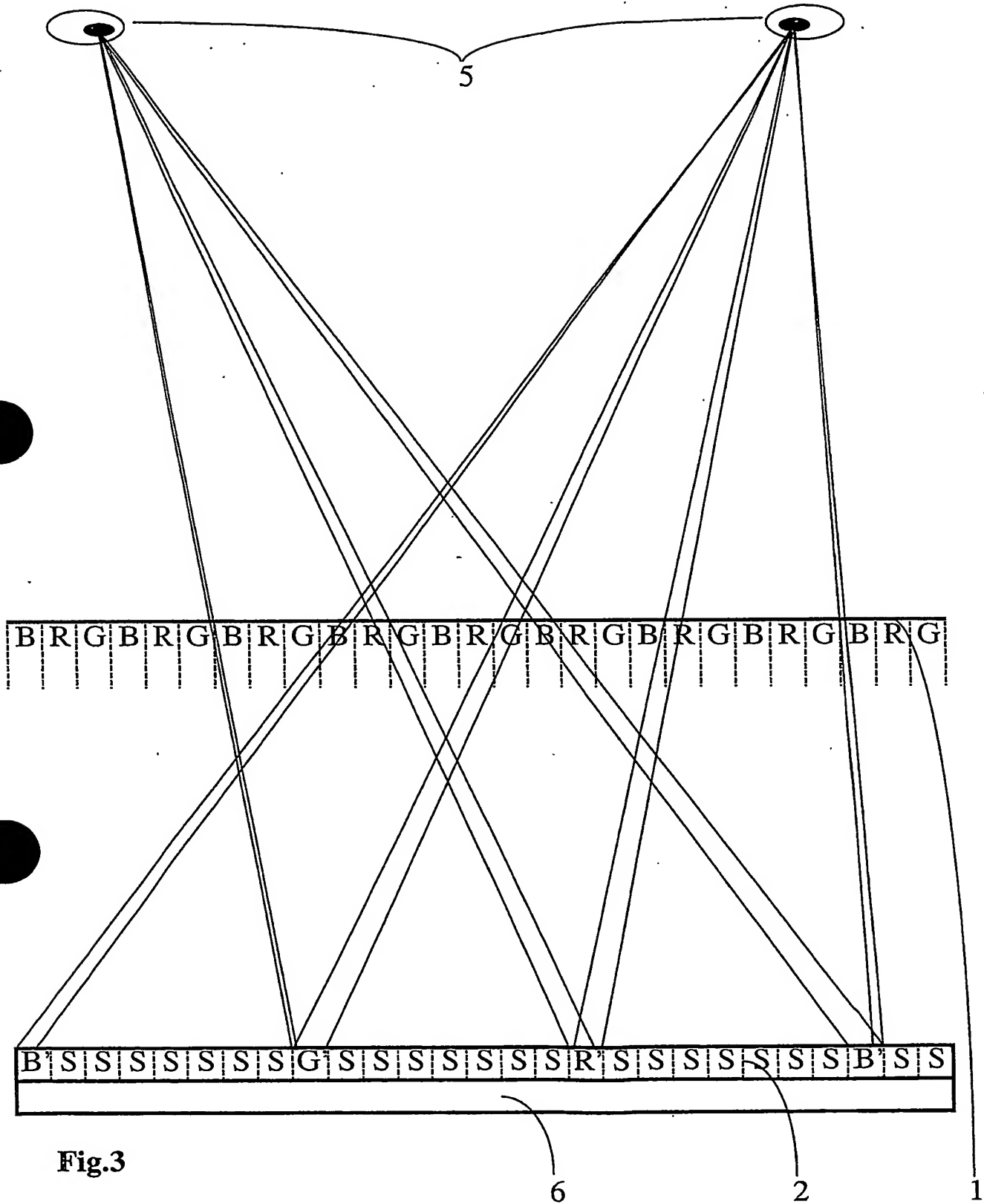


Fig.3



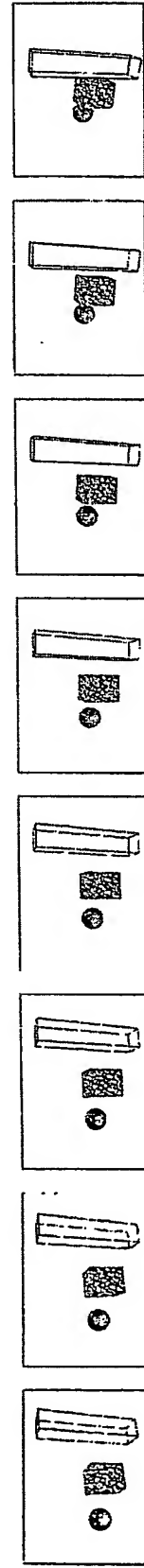
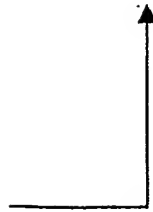
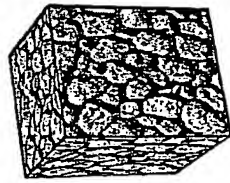
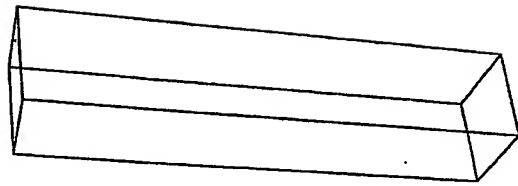


Fig.4



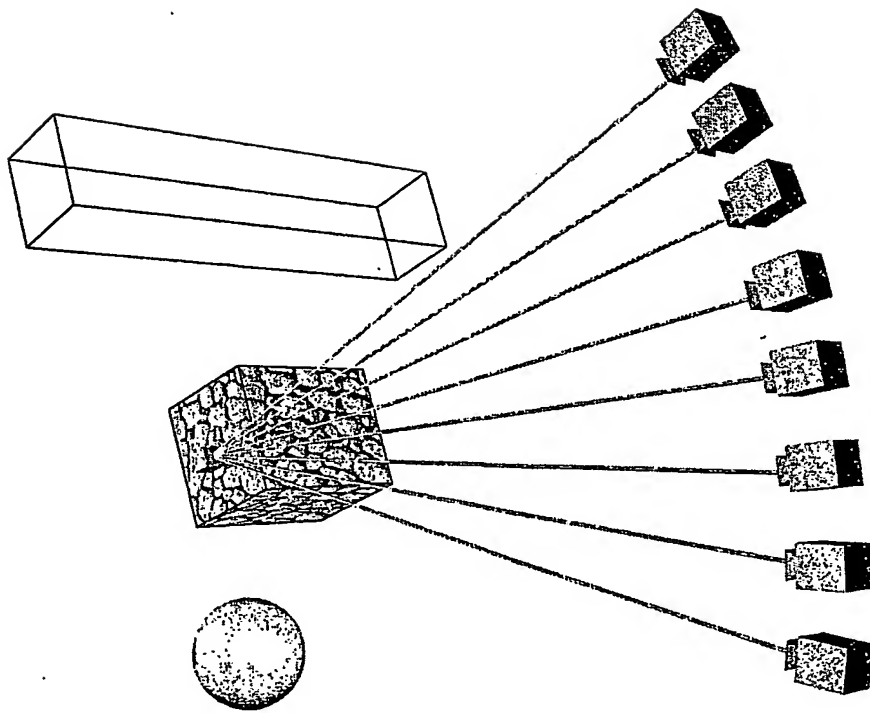


Fig.5



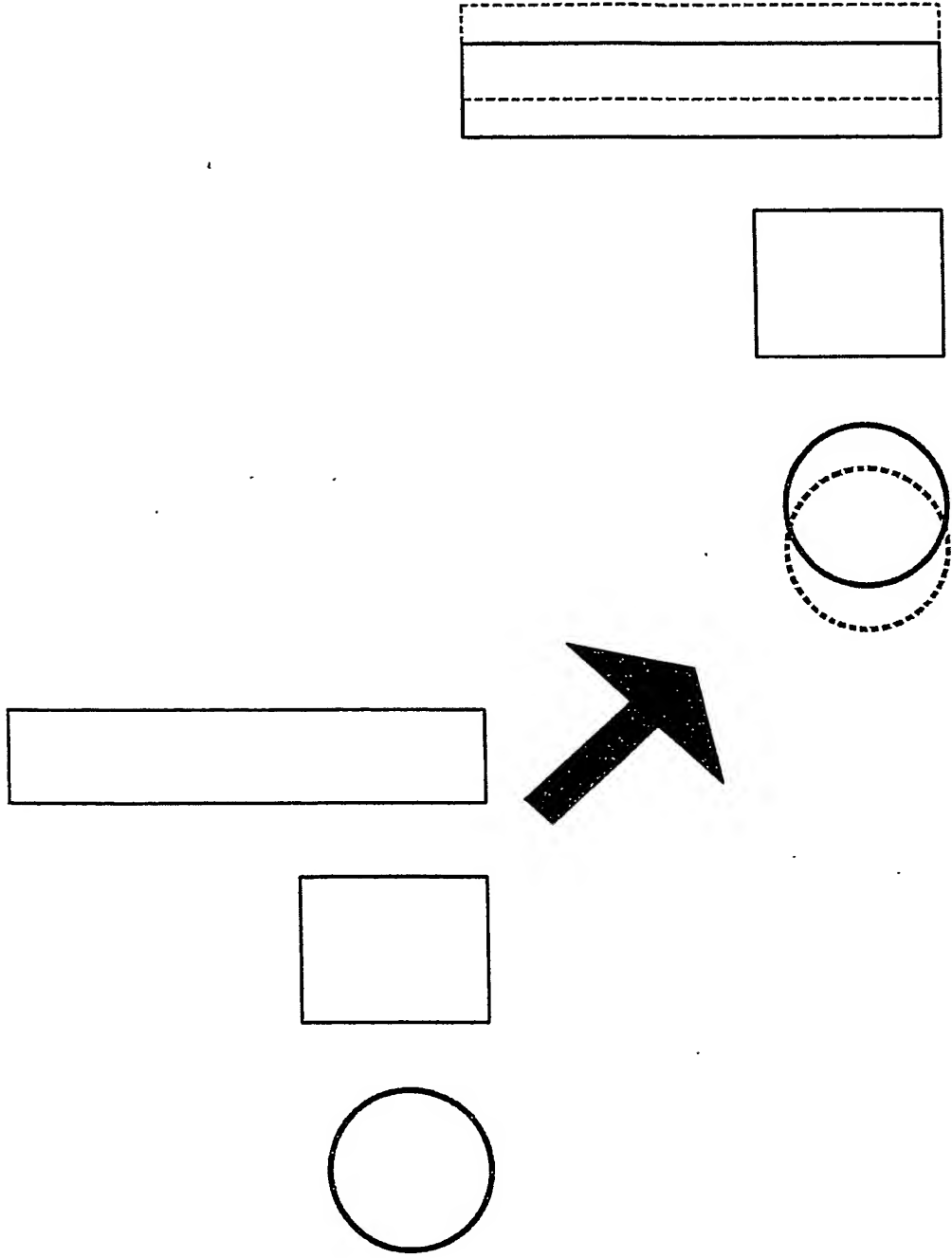


Fig.6



**Fig. 7**



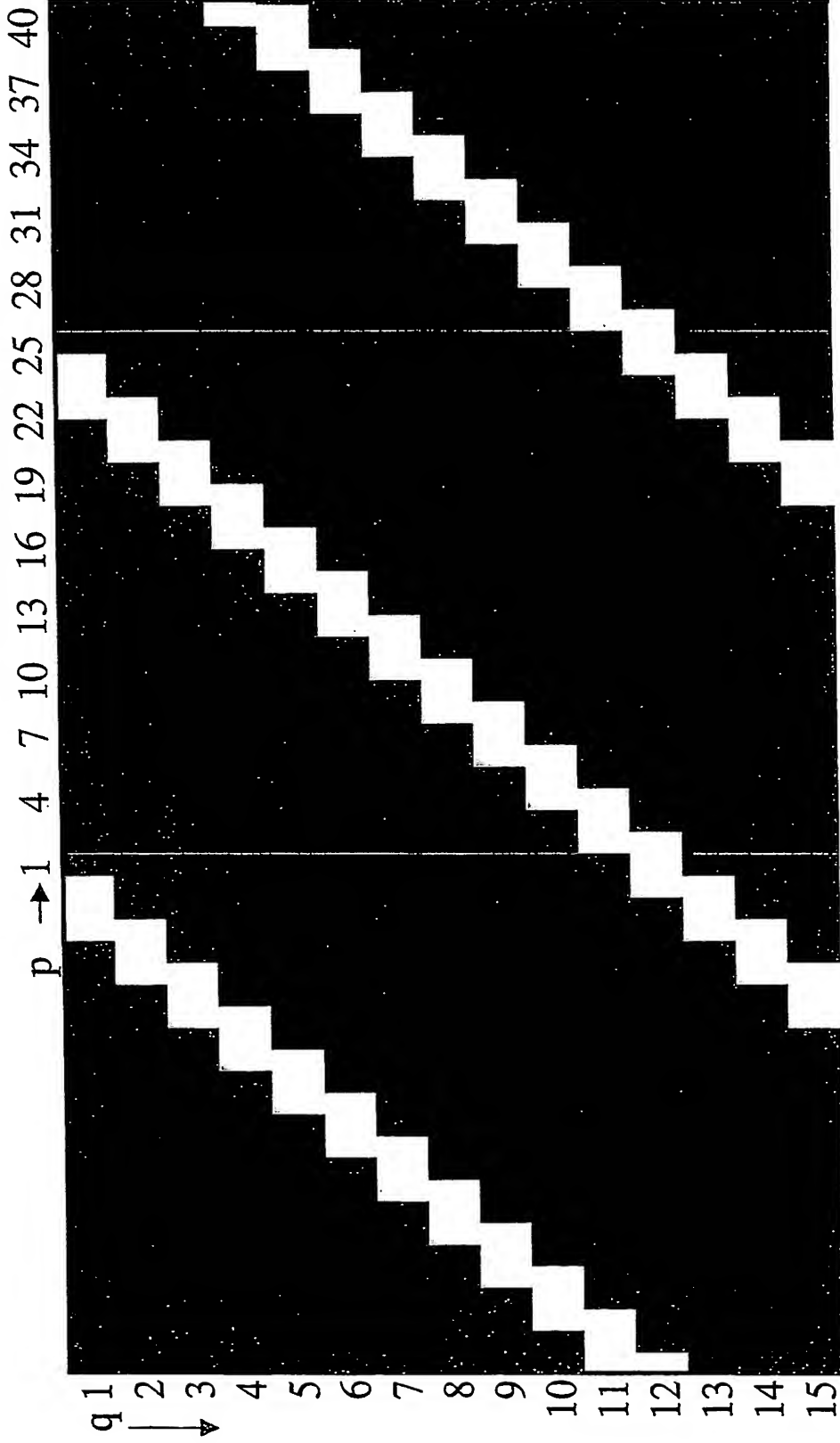


Fig.8







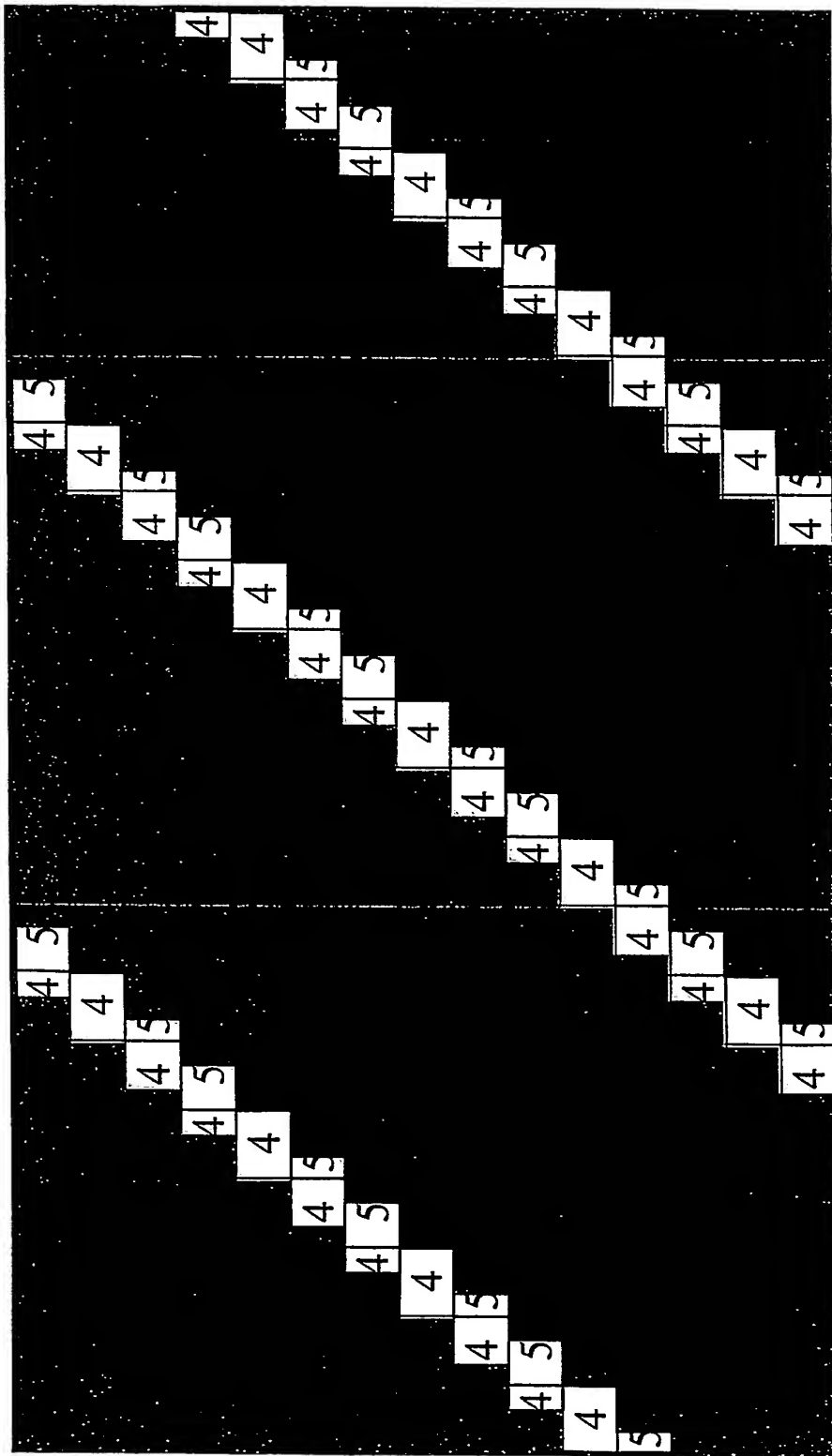


Fig.10



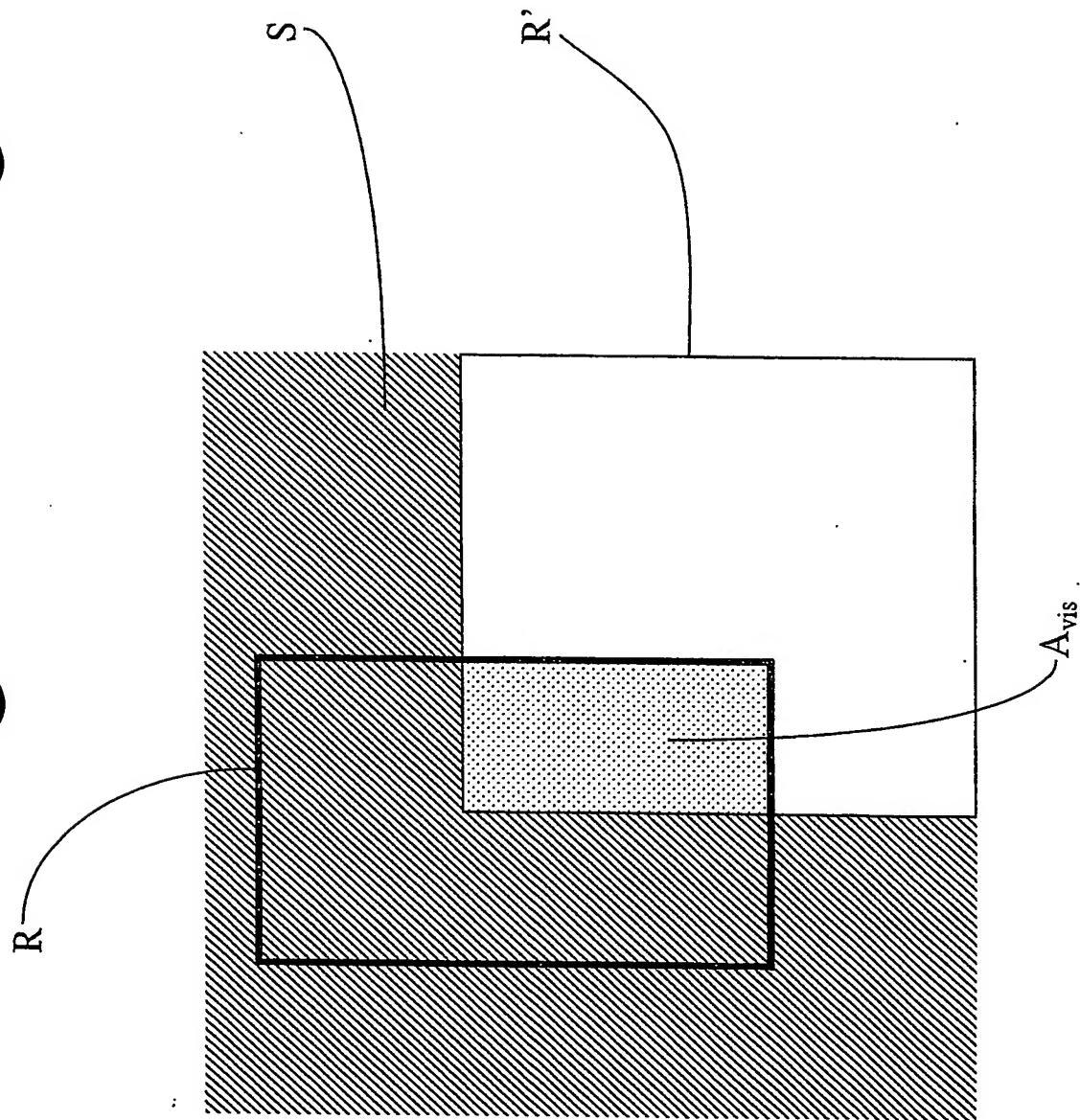


Fig.11



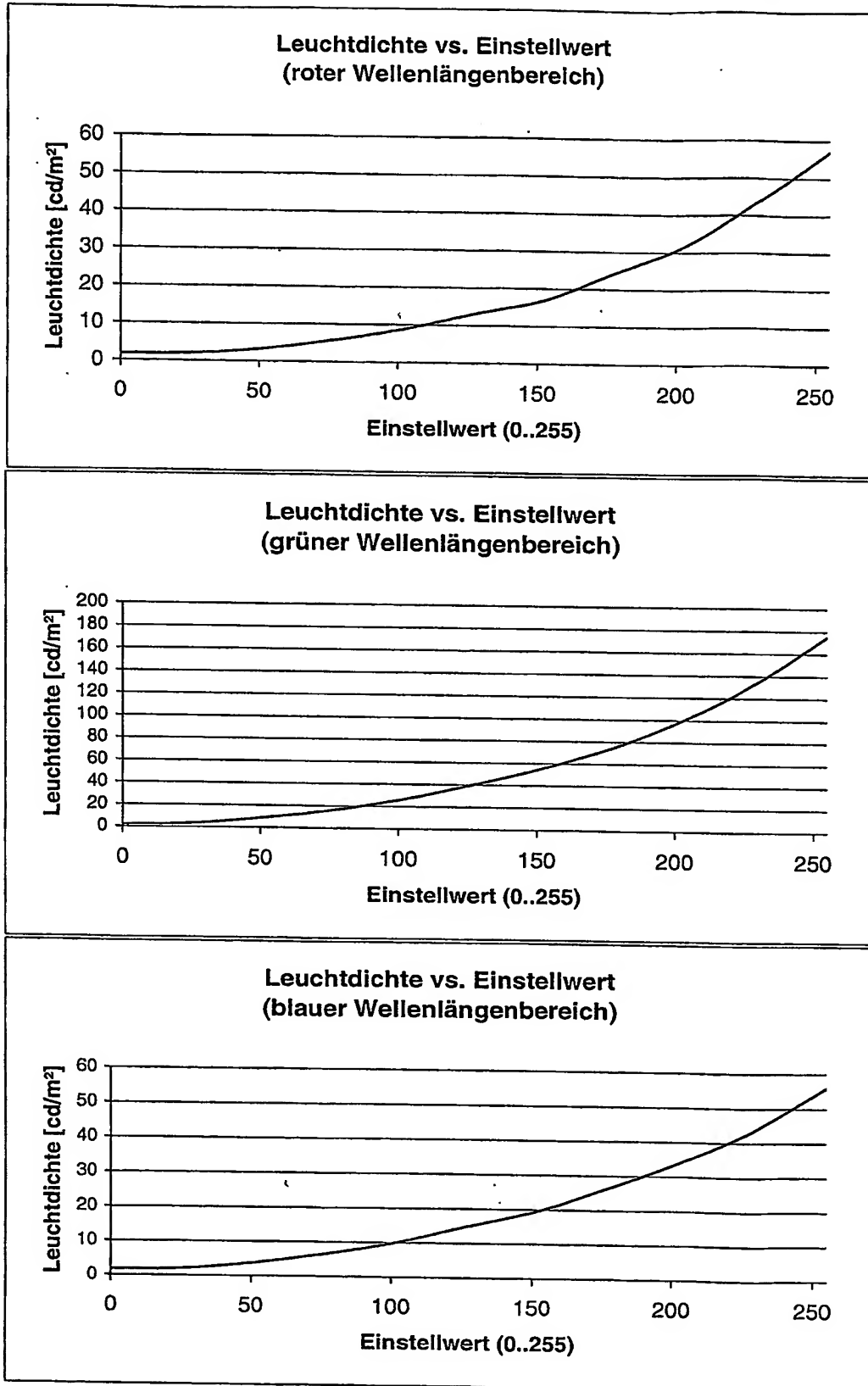


Fig.12



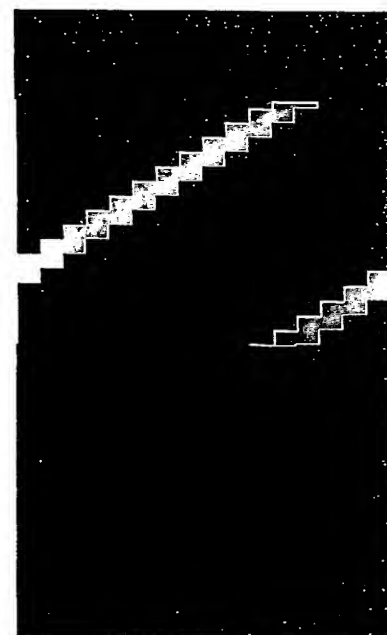
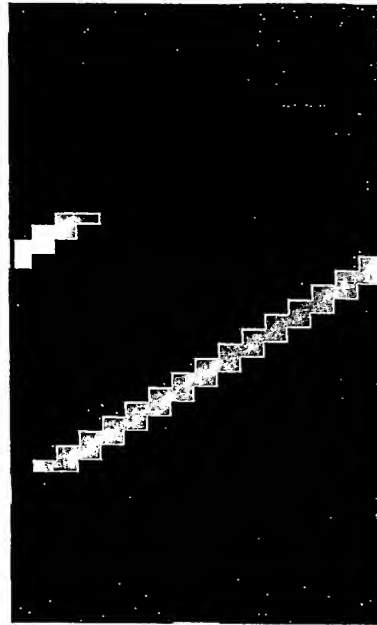
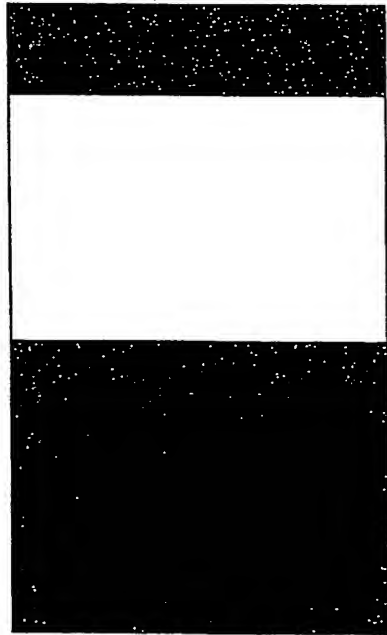
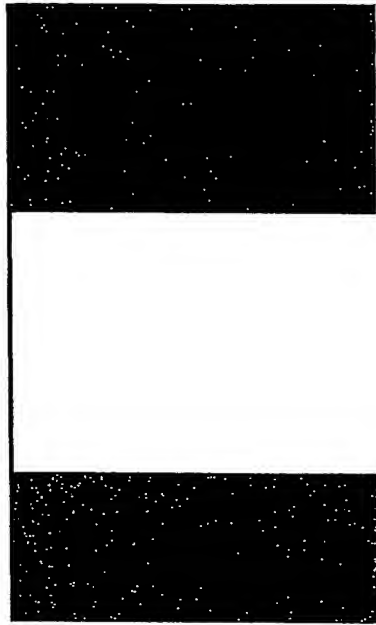


Fig.13



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**